



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**VLASTNOSTI VÝZTUŽNÝCH
SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ**

PROPERTIES OF REINFORCING GLASS-FIBER GEOGRIDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Veselý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ DAŠEK, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Petr Veselý
Název	Vlastnosti výztužných sklovláknitých geomříží
Vedoucí práce	Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Předané vzorky materiálů sklovláknitých výztužných geomříží

Normy řady ČSN EN 12697

Technický manuál pro provádění sklovláknitých mříží

Literatura z internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude věnována pozornost používání výztužných sklovláknitých kompozitů v konstrukcích vozovek a změnám vlastností těchto kompozitů po zabudování do vozovky, resp. během hutnění asfaltových vrstev. V laboratorních podmínkách bude modelováno hutnění dvou vrstev vozovky, mezi které budou vloženy různé druhy výztužných sklovláknitých geomříží. Pomocí vhodné zkoušky bude hodnocen vliv aplikace hutnicí energie na změnu vlastností geomříže.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Fungující silniční síť je základním prvkem dnešní ekonomiky. Jízda by měla být bezpečná a plynulá. Primární silniční síť je již vybudovaná a pozornost si nyní získává spíše její údržba. Z důvodu zvyšujícího se zatížení nákladní dopravou se dnešní vozovky stávají rychleji porušenými, zatímco není čas ani náklady na jejich rekonstrukce. Vzniká proto poptávka po vozovkách s delší životností a vyšší únosností. S ohledem na silnice nižších tříd se stává zřetelným díky nízkým nákladům na opravy, že je potřeba najít efektivní způsob zlepšení vozovek.

Z výše uvedeného se dá usoudit, že je potřeba spolehlivé, odolné a cenově výhodné technologie údržby, jako je například použití výztužných geomříží v asfaltových vozovkách. Tato práce se zabývá vlastnostmi geomříží ze skelných vláken po účincích hutnění a dále také testováním vlivu zabudování geomříží mezi asfaltové vrstvy na zpomalení či zabránění šíření trhlin.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sklovláknitá geomříž, coating, asfaltová směs, reflexní trhliny, pevnost v tahu, zkouška 4-bodovým ohybem

ABSTRACT

A proper road infrastructure is an essential part of today's economy. Usage of roadways should be safe and its flow should be easy going. Primary net of roadways is already in place and attention shifts to its maintenance. Because of constantly increasing loads of heavy traffic, roadways are degrading at a faster pace, while there are still smaller time windows and less available resources for their reconstruction. That is why there has been rising demand for pavements that last longer and are able to carry higher weights. With respect to the rural roads it becomes obvious because of low amount of resources for their maintenance, that it is necessary to find an effective way to enhance pavements.

From the foregoing it can be safe to say, that there is a clear need for reliable, durable and cost-effective technology of maintenance, such as the use of grids in asphalt pavements. This thesis deals with properties of geogrids made of glass fiber after its compaction as well as its effects on reduction or elimination of spreading of cracks in pavements.

KEYWORDS

Fiberglass geogrid, coating, asphalt mixtures, reflective cracking, tensile strength, 4-point bending strength test

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Petr Veselý *Vlastnosti výztužných sklovláknitých geomříží*. Brno, 2018. 62 s., 6 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2018

.....
podpis autora

Poděkování:

Chtěl bych především poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Daškovi Ph.D. za cenné rady, pomoc a trpělivost při konzultacích mé práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům centra AdMas za pomoc při provádění zkoušek a vyhodnocování výsledků. Na závěr bych chtěl poděkovat rodině a spolubydlícím za psychickou podporu.

Obsah

1	Úvod	10
2	Problematika a cíle práce	11
3	Teoretická část	12
3.1	Výroba sklovláknitých geomříží	12
3.1.1	Výroba skloviny	12
3.1.2	Skelná vlákna a pletení	13
3.1.3	Finalizace geomříže	14
3.2	Druhy sklovláknitých geomříží	15
3.3	Funkce sklovláknitých geomříží	16
3.4	Reflexní trhliny ve vozovce	17
3.5	Pokládka sklovláknitých geomříží	18
3.5.1	Aplikace geomříží	18
3.5.2	Celoplošná pokládka	19
3.5.3	Rekonstrukce	20
3.5.4	Skladování	20
3.6	Současné předpisy výztužných geomříží	21
3.6.1	Geokompozit s geomříží ze skelných vláken	21
3.6.2	Geokompozit s geomříží na bázi polymeru	22
3.6.3	Geomříž	22
4	Použité zkušební metody	23
4.1	Modifikovaná zkouška vyjždění kolem	23
4.1.1	Popis zkoušky	23
4.1.2	Upřesnění modifikace zkoušky	24
4.1.3	Vzorky pro zkoušku vyjždění kolem	25
4.2	Hutnění segmentovým zhutňovačem	26
4.2.1	Popis zkoušky	26
4.2.2	Vzorky pro testování vlivu hutnění	27
4.3	Pevnost v tahu sklovláknitých geomříží	29
4.4	Zkouška 4-bodovým ohybem	30
4.4.1	Popis zkoušky	30
4.4.2	Výroba desek pro zkušební trámce	31
4.4.3	Výroba zkušebních trámců	32

5	Materiály použitých vzorků	34
5.1	Sklovláknité geomříže	34
5.2	Směs ACO 11 s použitím vody jako pojiva pro simulaci hutněním ...	36
5.3	Směs ACO 11+ pro výrobu desek na zkoušku 4-bodovým ohybem .	37
5.4	Asfaltová emulze	38
5.5	Míra zhutnění asfaltové směsi pro zkoušku 4-bodovým ohybem	38
6	Výsledky	40
6.1	Zkouška 4-bodovým ohybem.....	40
6.1.1	Vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu	40
6.1.1.1	Vyhodnocení pomocí průhybu vzorku v čase	41
6.1.1.2	Vyhodnocení výsledků pomocí metody tečen	42
6.1.2	Vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem	44
6.1.2.1	Vyhodnocení pomocí průhybu vzorku v čase	44
6.1.2.2	Vyhodnocení výsledků pomocí metody tečen	46
6.1.3	Porovnání výsledků.....	47
6.1.3.1	Porovnání výsledků dle průhybu trámů v čase.....	47
6.1.3.2	Porovnání výsledků pomocí metody tečen	48
6.2	Pevnost v tahu použitých geomříží	49
6.2.1	Referenční nepoškozené vzorky	50
6.2.2	Vzorky vystavené účinku hutnění	50
6.2.3	Vzorky vystavené pojezdu kola	51
6.2.4	Porovnání výsledků.....	53
7	Závěr.....	56
8	Seznam použitých zdrojů	57
9	Seznam obrázků	59
10	Seznam tabulek.....	61
11	Seznam příloh	62

1 ÚVOD

V současné době je v České republice přibližně 26 % pozemních komunikací v kritickém stavu [1]. S tím, jak z dlouhodobého hlediska stoupá cena ropy, a tím pádem i cena asfaltu, dochází k nedostatku finančních prostředků na opravy a údržbu silnic. Proto je potřeba hledat nová řešení, která by vedla k prodloužení životnosti vozovky, resp. k delší životnosti provedených oprav. Jednou z možností je využití výztužných geomříží u netuhých vozovek, které zamezují prokopírování a šíření trhlin ve vozovce do obrusné vrstvy. Hlavním přínosem je, že použitím sklovláknitých mříží dochází k pohlcení tahových sil mezi jednotlivými asfaltovými vrstvami. V současné době se běžně tyto geomříže hojně využívají především v Holandsku, Spojených státech a Německu. Zde nachází využití zejména při rekonstrukcích vozovek, a to jak při velkoplošných či pouze lokálních opravách („Patch“) a díky tomu se výrazně snižují náklady na tyto opravy. V současnosti je hlavním problémem těchto geomříží náročná aplikace a dodržení správných technologických postupů. To je také jedním z důvodů proč tyto výztužné geoprvky investoři často zavrhnou a považují pouze za zbytečné dodatečné náklady na stavbu. [2]

Historicky zaznamenali výztužné geomříže největší úspěch ve Spojených státech kde také započal jejich vývoj v 60. letech minulého století, a dnes jsou tam využívány i při novostavbách. Z počátku se hledal ideální materiál a způsob aplikace těchto výztužných kompozitů, který by zajišťoval dostatečnou pevnost, spolupůsobení jednotlivých asfaltových vrstev a jednoduchou instalaci. [2]

Dnes se vyrábí velká řada výrobků určených ke zlepšení vlastností nestmelených vrstev pozemních komunikací. Ať už jde o geomříže, geotextilie, geohorože nebo geokompozitní materiály. Jejich společná definice by se dala shrnout těmito slovy:

„Jsou to výrobky, které se používají v oblasti silničního stavebnictví, aby zlepšily vlastnosti nestmelených podkladních vrstev, podkladních, ložných nebo obrusných asfaltových vrstev jejich funkčním zesílením, rozvedením/uvolněním vzniklého napětí, popřípadě vytvoření separační bariéry.“ [3] V současné době se používají především mříže ze skleněných, propylenových a polyesterových vláken. Méně využívané jsou na bázi aramidů nebo ocele. Tato práce se zabývá sklovláknitými geomřížemi.

2 PROBLEMATIKA A CÍLE PRÁCE

Pro správné použití daného výztužného prvku je nutné znát nejen jeho původní vlastnosti, ale také jeho chování v průběhu výstavby. Důležitými vlastnostmi výztužných geomříží je jejich pevnost v tahu, adheze materiálu vůči podkladní či ložní asfaltové vrstvě a v neposlední řadě také odolnost vůči namáhání v době provádění pozemní komunikace.

V případě použití geosyntetik se špatnými vlastnostmi do konstrukce vozovky by mohlo dojít až k fatálním následkům, a to hlavně z důvodu nedostatečné soudržnosti jednotlivých asfaltových vrstev. Proto je potřeba, aby pokládku prováděl zodpovědný proškolený pracovník. V České republice nyní prodejci výztužných geomříží nabízí produkty včetně pokládky pro zajištění vlastností materiálu a spolehlivosti konstrukce vozovky.

V teoretické části si tato práce klade za cíl provést stručnou rešerši stávajících informací o sklovláknitých geomřížích s využitím českých i zahraničních zdrojů. Dále také budou prozkoumány stávající předpisy platné v ČR o výztužných geokompozitech v konstrukcích vozovek. Důvodem je snaha o vytvoření uceleného přehledu o dané problematice.

Cílem praktické části práce je posouzení změny vlastností různých typů výztužných sklovláknitých geomříží, které by mohly nastat v průběhu výstavby. Cílem bylo simulovat vliv hutnění asfaltové vrstvy nad geomříží, či vliv pojezdu stavebních vozidel po položených geomřížích, na změnu jejich vlastností. K tomu byly použity zkoušky:

- Hutnění pomocí segmentového zhutňovače, dle ČSN EN 12697-33;
- Zkouška pojíždění kolem, dle ČSN EN 12697-22.

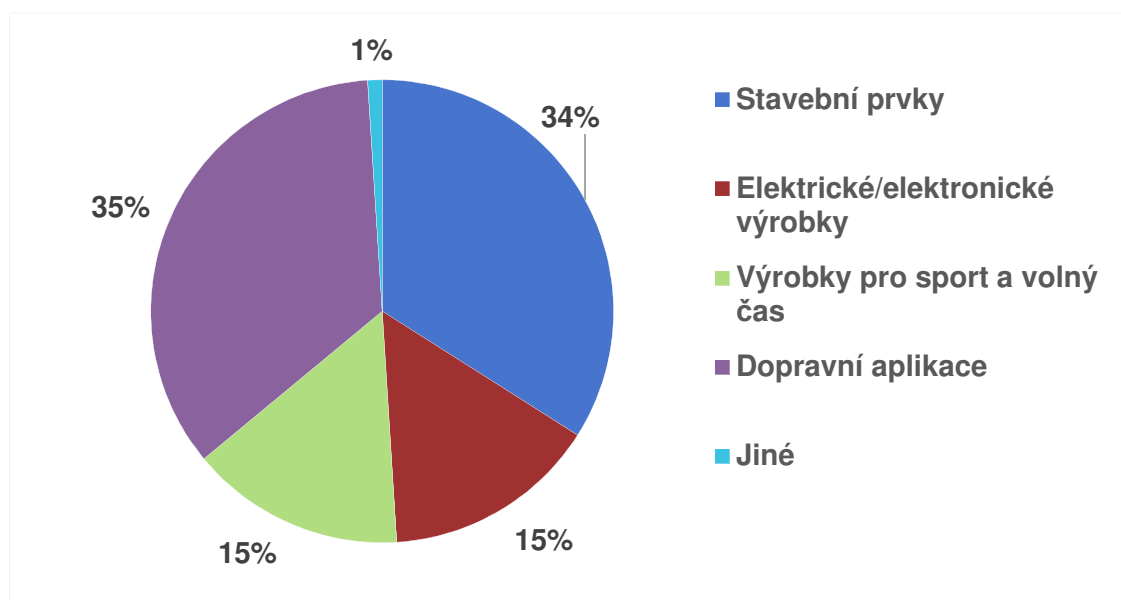
Vzorky mříží ze skelných vláken vystavených účinkům těchto zkoušek byly následně testovány na pevnost v tahu (dle EN-ISO 10319) a výsledky porovnány s vlastnostmi nových mříží.

V rámci této práce jsou porovnány vlastnosti prvků s modifikací povrchu skelného vlákna polymerním pokrytím (tzv. „coating“) a bez této modifikace.

3 TEORETICKÁ ČÁST

Seznámení s použitým materiálem a jeho chování a vlastnosti jsou základním faktorem pro správné využití daného produktu v praxi a tím i dosažení požadovaných výsledků na stavbě. V této části se budu zabývat popisem sklovláknitých geomříží od způsobu výroby jednotlivých vláken přes možnosti jejich aplikace a správného provádění na stavbě až po jejich chování v čase.

V roce 2018 je očekávaný nárůst na Evropském trhu s kompozity vyztuženými skelnými vlákny 2 % oproti minulému roku. Pro tento materiál se našlo největší využití ve stavebních prvcích a v dopravních aplikacích, kdy obě tyto odvětví spotřebují třetinu celkové produkce. Mezi ostatní průmysly, využívající tento materiál, patří například elektronika a sport. [4]



Obrázek 1: Využití kompozitů vyztužených skelnými vlákny v jednotlivých průmyslech

Zdroj: [4]

3.1 VÝROBA SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ

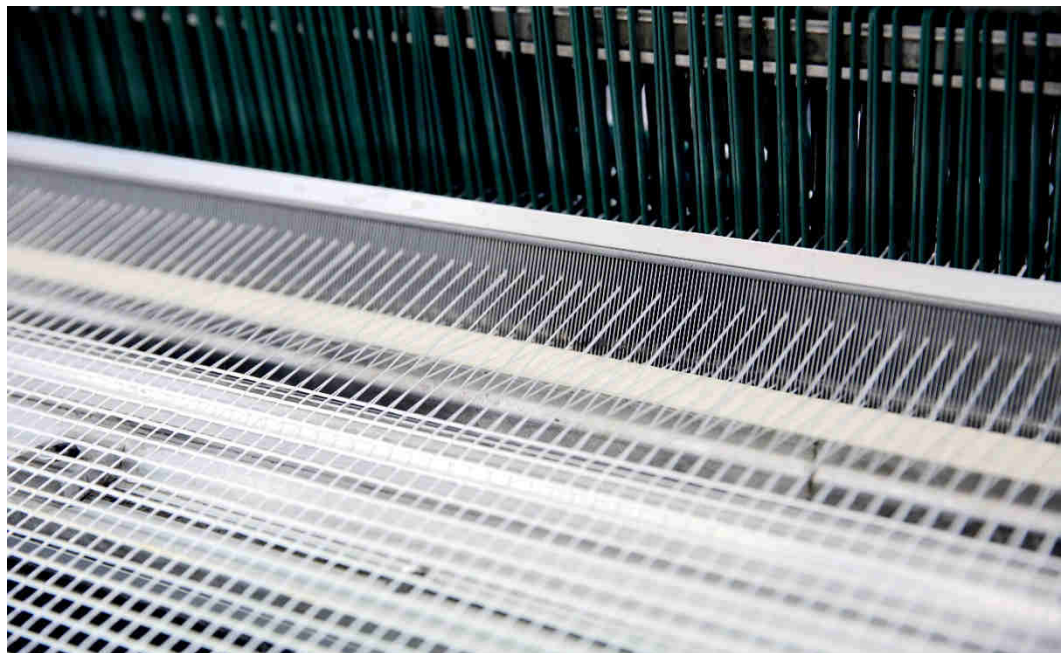
3.1.1 Výroba skloviny

Výroba sklovláknitých geomříží začíná výrobou samotných skleněných vláken. Moderní kompozitní konstrukční materiály se často bez skleněných výztuží neobejdou. V roce 2001 byla celosvětová výroba skleněných vláken na úrovni 2,5 milionu tun. [5]

Výroba probíhá ve sklářských vanách (tavících agregátech). Jedná se o kontinuální proces, který v těchto zařízeních probíhá nepřetržitě celý rok a pozastavení výrobního procesu znamená konec celé výrobní linky. Do prostoru vany vytápěné na teplotu tavení vchází základní sklářský kmen a dochází k jeho spojení – typicky sklářský písek, kaolin, kolemanit, kazivec, vápenec a další minoritní přísady v poměru, který určí finální vlastnosti skelného produktu. Tato homogenní tekutá směs už se považuje za roztavenou sklovinu. Z tavících agregátů pokračuje do platinových pícek s tryskovým dnem, skrz které prostupuje ven. [6]

3.1.2 Skelná vlákna a pletení

Jednotlivé proudy roztaveného skla pokračují na navíječku, která konstantní rychlostí utváří z tekutého polotovaru vlákna o předem daných rozměrech. Zároveň paralelně s tímto procesem dochází k aplikaci takzvané lubrikace neboli prvotního coatingu, který zajistí spojitost vláken a umožní další manipulaci s materiálem. Druhy materiálů použitých pro lubrikaci se liší podle úmyslu konečného využití vláken a požadovaných vlastností jako je například kompatibilita s dalšími vrstvami pokrytí. Takto upravená vlákna jsou namotávána na kokon, z kterého dochází ke skaní skelných vláken (úprava příze, při které se spojují a zakrucují dvě nebo více vláken dohromady) a výrobě příze. [6]

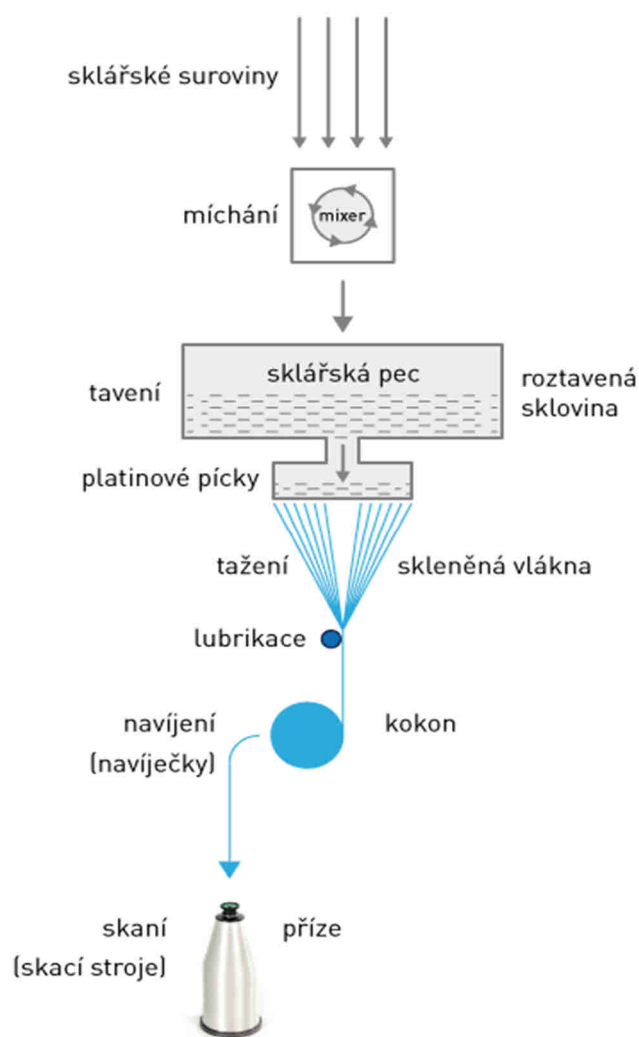


Obrázek 2: Pletení skelných vláken na pletacím stroji

Zdroj: [7]

3.1.3 Finalizace geomříže

Pro výrobu geomříží z připravené příze se začíná procesem pletení, který je ideální pro zajištění rozměrové stálosti produktu (viz. Obrázek 3). Oka v mříži jsou čtvercového tvaru rozměrů 1,2-3 cm. Na tuto mříž je poté nanášen rovnoměrně v ploše polymerový povlak pro zajištění kompatibility s asfaltem a zlepšení tuhosti spojů jednotlivých ok geomříže. Jako další krok výrobního procesu je dokonalé vysušení geomříží v pecích zajišťující lepší soudržnost skelných vláken s polymerovým povlakem. Po vytažení mříží z pece a vychladnutí výrobku dochází k nanášení adhezivní vrstvy na spodní stranu sklovláknité geomříže, které napomáhá jednodušší instalaci samolepící mříže na stavbě a zajišťuje její přilnavost k vyrovnávací vrstvě na kterou je umístěna. Posledním krokem je barevné označení krajů pro jednoznačné určení vzdálenosti přeložení jednotlivých pásů uložených na stavbě v podélném směru pozemní komunikace. [7]



Obrázek 3: Princip výroby skleněných vláken po skaní

Zdroj: [6]

3.2 DRUHY SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ

Existuje velké množství různých druhů výztužných geomříží. Jedno ze základních rozdělení je na:

- Mříže s adhezní vrstvou, které napomáhá při pokládce (fixaci k povrchu) a zamezuje jejich posunutí při pohybu osob či vozidel po povrchu,
- Mříže bez vrstvy lepidla,

- Kompozitní mříže, které kombinují výztužnou skelnou mříž a netkanou textilií určenou pro instalaci a případné vytvoření nepropustné vrstvy.

Hlavní rozdělení těchto výztužných geotextilií je však dle jejich využití. Základní typ je využíván celkově do konstrukce pozemní komunikace, ať už celoplošně či na její lokální opravy. Poté se také používají geomříže se zvýšenou únosností s využitím například na letištních plochách aplikované zejména v zahraničí, především ve spojených státech. Dalším typem jsou mříže pro mostní objekty, kde je barva mříží varovným bodem při frézování asfaltových vrstev z důvodu ochrany cenné hydroizolace mostní konstrukce. Použití těchto barevných geotextilií přináší značnou úsporu oproti barevně odlišným asfaltům, které jsou velmi drahé. Posledním typem jsou mříže pro opravy a zamezení šíření trhlin u klesajících uličních vpustí. Jelikož v České republice nachází výztužné prvky v pozemních komunikacích využití hlavně u lokálních oprav jednotlivých úseků, je tento typ geomříže u nás často využívaným prvkem.

3.3 FUNKCE SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ

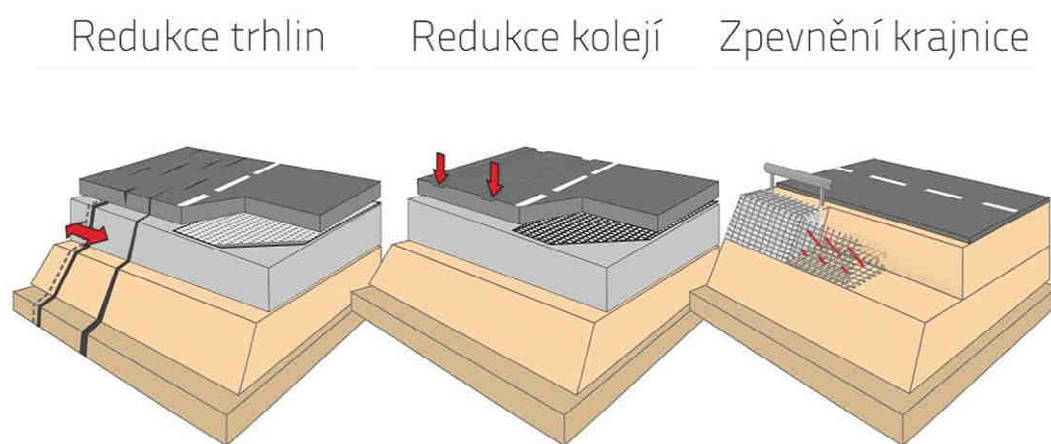
Použití sklovláknitých geomříží v konstrukci má následující funkce:

- eliminace reflexních trhlin;
- snížení trvalých deformací vyjžděných kolejí;
- zpevnění krajnic.

Hlavním faktorem je jejich schopnost přenášet tahové síly ze spodních vrstev celkového souvrství komunikace a eliminování počtu trhlin, které se prokopírují na její povrch, čímž značně prodlužuje celkovou životnost a snižuje náklady na údržbu daného úseku. Tyto mříže se umísťují mezi jednotlivé asfaltové vrstvy, a proto zamezují prokopírování trhlin z podloží na povrch, nikoliv jejich celkovému vzniku v pozemní komunikaci. Další využití výztužných geomříží lze nalézt například v místech s nebezpečím vzniku vyjždění kolejí, kdy napomáhají redukovat deformace z podloží (znovu díky přenosu tahových sil mezi jednotlivými asfaltovými vrstvami). Ovšem redukce kolejí není primární funkcí těchto výztužných prvků. V neposlední řadě tyto mříže mohou najít využití pro zpevnění

krajnice pozemních komunikací, kde dochází vlivem dodatečného rozšíření vozovky v minulosti k jejich sedání. Vozovky byly často rozšířeny na úkor příkopů a nedostatečně zhutněny. Dochází tak zde ke vzniku poruchy olamování okraje vozovky, pro kterou jsou charakteristické podélné rozvětvené trhliny.

Na následujícím obrázku 4 lze vidět jednotlivé funkce výztužných prvků ve vozovce.



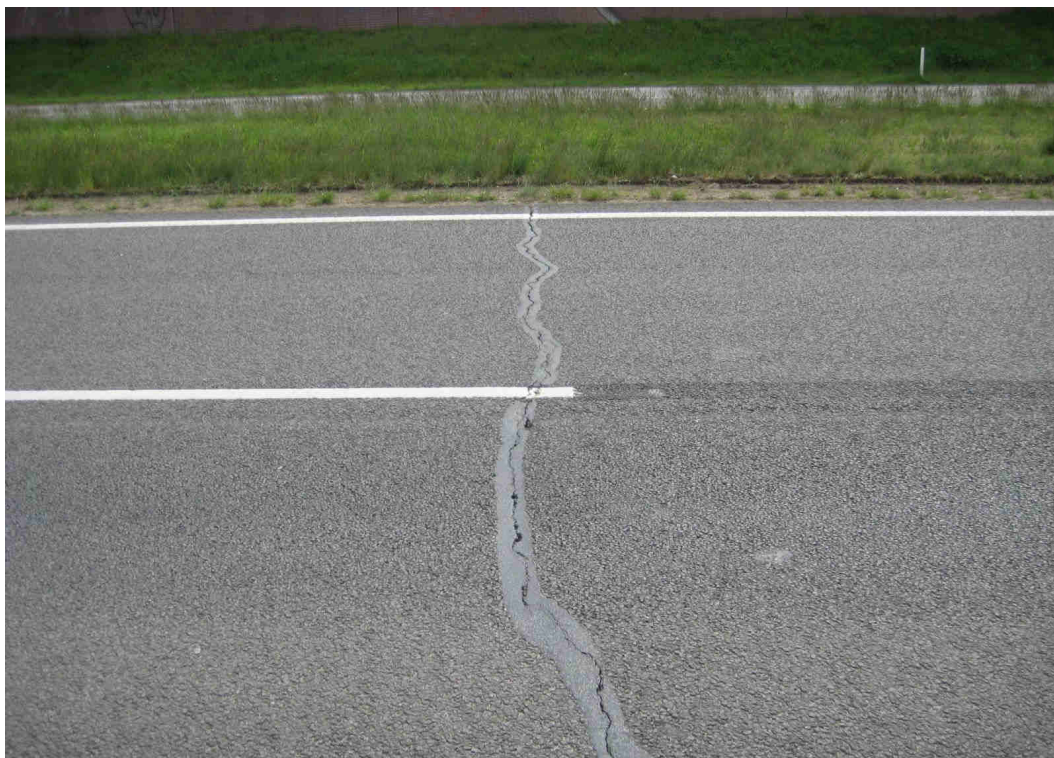
Obrázek 4: Funkce výztužných geomříží

Zdroj: [8]

3.4 REFLEXNÍ TRHLINY VE VOZOVCE

Jak bylo řečeno, výztužné geomříže se využívají především pro redukování nebo úplnou eliminaci trhlin ve vozovce. Zejména se jedná o trhliny reflexní. Reflexní trhlina je způsob porušení netuhé vozovky vznikající prokopírováním trhlin ze stmelené podkladní vrstvy. Trhliny ve stmelených podkladních vrstvách vznikají z několika příčin. Tou hlavní je změna objemu z důvodu teplotních změn. Jejich eliminace se dnes řeší například pojezdem vibračního válce po vrstvě, čímž vzniknou po celém povrchu podkladní vrstvy mikrotrhliny. Reflexní trhliny vznikají v příčném směru komunikace (viz Obrázek 5). Nebezpečí takto vzniklé trhliny, je v jejím dalším vývoji, kdy může docházet k jejímu rozšiřování ulamováním hran. Tento vývoj může vést až ke vzniku výtluků či vývoje rozvětvených trhlin. Na reflexních trhlínách zanesených nečistotami nebo na podkladech s objemovými změnami vzniká příčný hrbol. Pokud je trhlina stále nerozvětvená, opravuje se pomocí vyčištění dané trhliny a vyplnění záhlvkou. V případě rozvětvení trhlin je

potřeba provést opravu trhlin, právě zde lze s výhodou uplatnit výztužné geomříže. [9]



Obrázek 5: Reflexní trhlina netuhé vozovky
Zdroj: [10]

3.5 POKLÁDKA SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ

3.5.1 Aplikace geomříží

Uložení geomříží se provádí na hladký nebo frézovaný upravený povrch, nejčastěji mezi dvě vrstvy asfaltových směsí – podkladní a ložní nebo ložní a obrusnou vrstvu. Teplota povrchu při pokládce by se měla pohybovat v rozmezí 5 °C až 60 °C. Je doporučeno nechat nově položenou asfaltovou vrstvu vychladnout alespoň na teplotu 43 °C. Na očištěný a hladký povrch je před pokládkou výztužných geokompozitů nanesen spojovací postřik s minimálním obsahem 60 % zbytkového asfaltu pro zlepšení adheze prvku. Při použití samolepících geomříží se nanáší postřik pouze po pokládce prvku. Samolepící mříž je doporučeno instalovat na vyrovnávací vrstvu tloušťky minimálně 20 mm. Pro eliminaci zvlnění je potřeba při pokládce mříž napínat. Ve směrových obloucích je možno zabránit vzniku vln přerezáním a přeložením mříže. Aplikace spojovacího postřiku by měla být zajištěna pomocí speciálního vozidla – distributoru, se zařízením umožňujícím

přesné dávkování postřiku na povrch. Typ a množství spojovacího postřiku je ovlivněno především místními podmínkami na stavbě a absorpčními vlastnostmi geotextilie. Celkové množství spojovacího postřiku je klíčové pro zajištění adheze geomříže k podkladu a spojení jednotlivých asfaltových vrstev. Běžně se používá množství 0,25 kg/m² zbytkového asfaltu. Kompozitní mříž je potřeba aplikovat ihned po nanesení spojovacího postřiku (netkanou textilií směrem dolů). Pro nasáknutí asfaltu do textilie je potřeba dodatečně přitlačit kompozitní mříž k povrchu. Zajistí se tím lepší adheze prvku i u samolepících mříží. Přejíždět po instalované mříži smí pouze vozidla stavby a integrovaného záchranného systému. Maximální rychlost pojezdu je 20 km/h bez prudkého brzdění, rozjíždění či otáčení. Jestliže povrch s instalovanou mříží navlhne nebo zmokne, je potřeba nechat materiál vyschnout bez jakéhokoliv narušení dopravou. Pojíždění po mříži pokud je povrch mokrá či navlhlý může narušit její přilnavost. [11]

3.5.2 Celoplošná pokládka

U novostaveb a rekonstrukcí, kde se pokládka provádí celoplošně, může být využíváno zvláštní techniky pro usnadnění pokládky a zajištění správného uložení výztužných prvků, ale není to nezbytný postup (Ruční pokládka viz obrázek 6). Pro zajištění vlastností výztužných prvků v celé ploše je potřeba dodržovat překrytí jednotlivých vrstev v dané šířce alespoň o 50 mm. Pro usnadnění při pokládce je na mřížích vyznačen reflexní pruh značící nutnou šířku překrytí pro zachování vlastností. Pro navázání rolí ve směru pokládky asfaltové směsi se doporučuje překrývat jednotlivé spoje mříží o 100-150 mm v podélném směru komunikace. Musí být zajištěn úplný kontakt výztužných geomříží s povrchem vozovky. Pro spojení kompozitních prvků se aplikuje spojovací postřík do míst přesahu dvou vrstev. Překrytí mříže nesmí být ve stejném místě dilatačních spár ani spojů asfaltových pásů. Překlady by měly být zhotoveny minimálně 0,5 m od těchto zmiňovaných oblastí. Z důvodu nebezpečí poškození čerstvě položené vrstvy je potřeba nechat asfaltový postřík asfaltovou emulzí vyštěpit. Kdyby k vyštěpení nedošlo, celková adheze by byla snížena a mohlo by dojít k poškození výztuhy pojezdem vozidel. Po vyštěpení spojovacího postřiku lze nanést další asfaltovou vrstvu tohoto souvrství a pokračovat ve výstavbě vozovky obvyklým způsobem. Pokládku krycí asfaltové vrstvy je potřeba provést během 24 hodin od pokládky mříže. Tloušťka této vrstvy musí být minimálně 40 mm. [11]



Obrázek 6: Ruční pokládka geomříží

Zdroj: [12]

3.5.3 Rekonstrukce

Při rekonstrukcích není nutné frézovat všechny asfaltové vrstvy vozovky. Po odfrézování povrchu je potřeba jej především očistit a provést prohlídku povrchu podkladní vrstvy s tím, že se stanoví rozsah a druh poruch v této vrstvě. Výtluky větší než 6 mm a trhliny od 3 mm do 6 mm musí být před zahájením pokládky vyplněny vhodným materiálem. Jednotlivé trhliny menší než 3 mm se překrývají mříží s přesahem minimálně 0,75 m na každé straně, pro zajištění přenosu tahových sil výztužným prvkem, dle TP115. [11]

3.5.4 Skladování

Pro skladování na stavbě by měl být zajištěný čistý suchý a rovný povrch, na který se umístí role geomříže. Teplota při skladování se pohybuje od -30 °C do 80 °C a vlhkost by neměla překročit hranici 85 %. Skelné vlákno je považováno za kožní alergen a proto by pracovníci, kteří přijdou s tímto materiálem do kontaktu, měli nosit ochranné pomůcky, jako jsou pracovní oděv, boty, rukavice apod. Omezení tohoto vlivu je podmíněno použitím výztužných prvků s coatingem chránícím vlákno. [11]

3.6 SOUČASNÉ PŘEDPISY VÝZTUŽNÝCH GEOMŘÍŽÍ

Mezi nejdůležitější české předpisy, které se zabývají výztužnými geomřížemi, se řadí norma ČSN EN 15381 – Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím - Vlastnosti požadované pro použití na vozovky a asfaltové kryty [13]. Další z předpisů upřesňující danou problematiku v České republice je TP 115 – Opravy trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem [14], které se mimo ostatní formy řešení oprav zabývá i výztužnými prvky. V neposlední řadě je důležitým předpisem TP 147 – Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky [15]. Hlavním problémem je nedostatek aktuálních technických předpisů. Nejnovější z výše uvedených jsou technické podmínky TP 147 z 1. července 2010. Tento předpis definuje některé základní požadavky na vlastnosti geomříží, geokompozitů na bázi polymerů a také na bázi skelných vláken. Uvedené hodnoty a požadavky v nich jsou však již částečně zastaralé a nesplňují nároky dnešní produkce těchto materiálů. V předpisech chybí podrobnější informace o vlastnosti geomříží, zejména zda je použita ochrana vláken (tzv. coating), či nikoliv. Zhotovitel tak často může sáhnout po nejlevnějších variantách geomříží, které sice splňují požadavek pevnosti v tahu, nicméně jejich zabudováním do konstrukce vozovky může dojít k jejich částečnému poškození a zhoršení jejich vlastností. Z uvedeného vyplývá, že je potřeba provést revizi těchto předpisů. V následujících tabulkách jsou uvedeny základní požadavky na geomříže, které v současné době specifikuje předpis TP 147.

3.6.1 Geokompozit s geomříží ze skelných vláken

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Geomříž : Indexová pevnost *	kN	50	-	ISO 3341
Pevnost v tahu	kN	20	-	ČSN EN ISO 10319
Indexová tažnost *	%		3	ISO 3341
Tažnost	%	-	5	ČSN EN ISO 10319
Velikost oka		30 X 30		
Instalační geotextilie : Pevnost v tahu	kN	0,5	-	ČSN EN ISO 10319
Plošná hmotnost	g/m ²	100	-	ČSN EN 965

Tabulka 1: Požadované vlastnosti geokompozitu s geomříží ze skelných vláken

Zdroj: TP 147 - Tabulka 5 [15]

3.6.2 Geokompozit s geomříží na bázi polymeru

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Geomříž : Pevnost v tahu	kN	20	-	ČSN EN ISO 10319
Tažnost	%	-	15	ČSN EN ISO 10319
Velikost oka		60 X 60		
Instalační geotextilie : Pevnost v tahu	kN	0,5	-	ČSN EN ISO 10319
Plošná hmotnost	g/m ²	100	-	ČSN EN 965

Tabulka 2: Požadované vlastnosti geokompozitu s geomříží na bázi polymeru

Zdroj: TP 147 - Tabulka 6 [15]

3.6.3 Geomříž

Vlastnost	Jednotka	Požadavek		Zkoušeno podle
		min.	max.	
Pevnost v tahu	kN	20	-	ČSN EN ISO 10319
Tažnost	%	-	15	ČSN EN ISO 10319
Velikost oka		60 X 60		

Tabulka 3: Požadované vlastnosti geomříží

Zdroj 1: TP 147 - Tabulka 7 [15]

4 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

Cílem praktické části práce bylo simulovat vliv výstavby na změny vlastností výztužných mříží. Pro tyto účely byly použity zkušební metody, které simulují skutečné podmínky na stavbě nebo se jim alespoň velmi podobají. V této části práce jsou tyto zkušební metody popsány. Jsou zde také uvedeny a stručně charakterizovány další zkušební metody, které byly v rámci práce použity.

4.1 MODIFIKOVANÁ ZKOUŠKA VYJÍŽDĚNÍ KOLEM

4.1.1 Popis zkoušky

Tato zkouška se obecně zabývá měřením vývoje vzniklých deformací v asfaltové vrstvě vozovky vlivem zatížení dopravou. Zkouška se provádí dle ČSN EN 12697 – 22. [16]

Měření probíhá za pomoci speciálního přístroje (vyjížděče kolejí), do kterého jsou upevněny předem připravené zkušební desky z asfaltové směsi, o rozměrech 320 mm x 260 mm. Tyto zkušební desky jsou temperované na danou testovací teplotu (běžně 50 °C), simulující účinek vysokých teplot letních měsíců. Zkušební desky jsou pevně připevněny v předpřipravených formách. Ty jsou pevně uchyceny v přístroji pomocí závitových šroubů. Na takto připravené vzorky se poté působí pojezdy zatíženými pryžovými koly o průměru 203 mm a šířky 50 mm. Zatížení, které je vyvozené testovacím kolem, napodobuje zatížení způsobené nákladními vozidly. Zatížení probíhá cyklicky ve směru delší středové osy zkušební desky. Snímače deformací zaznamenávají postupný pokles kola v průběhu zkoušky. Standartní test se provádí na 10 000 cyklech zatížení, čili 20 000 pojezdech kola tam a zpět. Na následujícím obrázku je zobrazen zkušební přístroj s připravenými vzorky na testování.



Obrázek 7: Přístroj pro provádění zkoušky vyjíždění kolem

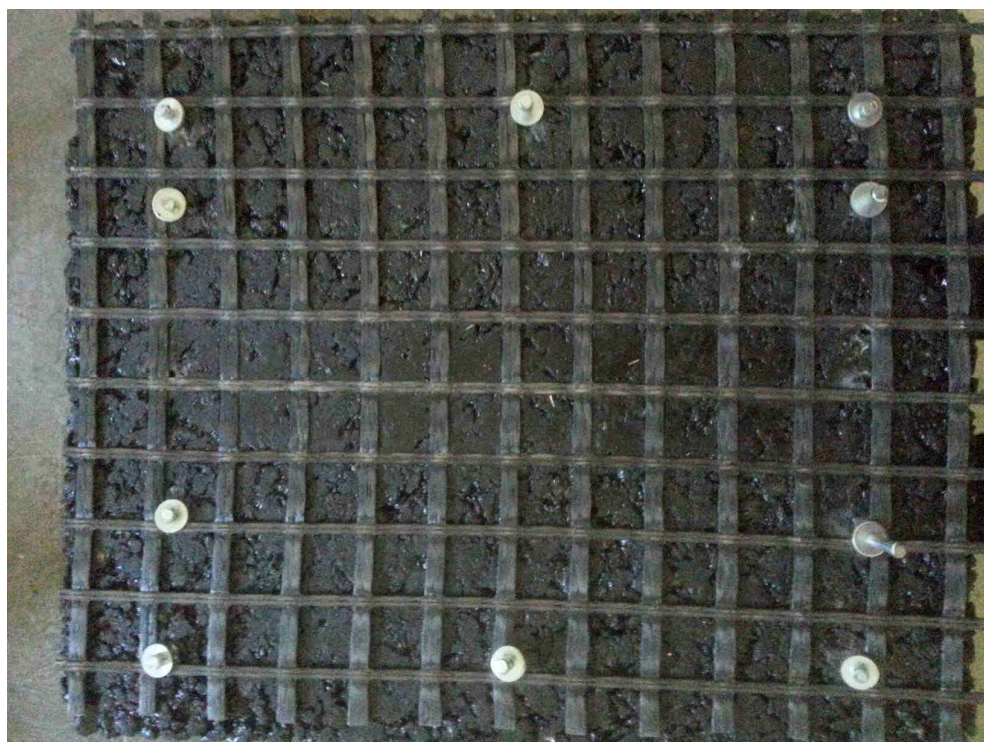
4.1.2 Upřesnění modifikace zkoušky

V rámci bakalářské práce bylo snahou nalézt test, který by simuloval vliv pojíždění stavební techniky po geomřížích, na změnu jejich vlastností. Po položení mříží po nich jezdí například nákladní auta, která přijíždí k finišerům s asfaltovou směsí. Kromě toho po položené geomříži pojíždí také samotný finišer. Ve snaze simulovat podmínky pojezdu stavební techniky na vzorcích v laboratoři bylo použito právě zkoušky vyjíždění kolem. Cílem tohoto testu nebylo změřit hloubku vyjížděné koleje, ale míru porušení daných mříží. Místo obvyklých 10 000 cyklů bylo provedeno pouze 5 000 cyklů na každém vzorku, tzn. 10 000 pojezdů tam a zpět. Důvodem k tomuto rozhodnutí je, že se testuje pouze krátkodobé zatížení staveništní dopravou a zatížení 10 000 cyklů by bylo neúměrně předimenzovaným postupem a neodpovídalo by realitě. Zkoušky probíhaly na vzorcích různých mříží, ale především byly testovány dva typy. S coatingem a bez, vždy po dvou vzorcích, přičemž jedna sada vzorků byla testována při teplotě 30 °C a druhá při 40 °C, bez temperace vzorků předem. Zásadním faktorem zkoušky bylo připevnění jednotlivých mříží k podkladu způsobem, který zamezí podélnému či příčnému

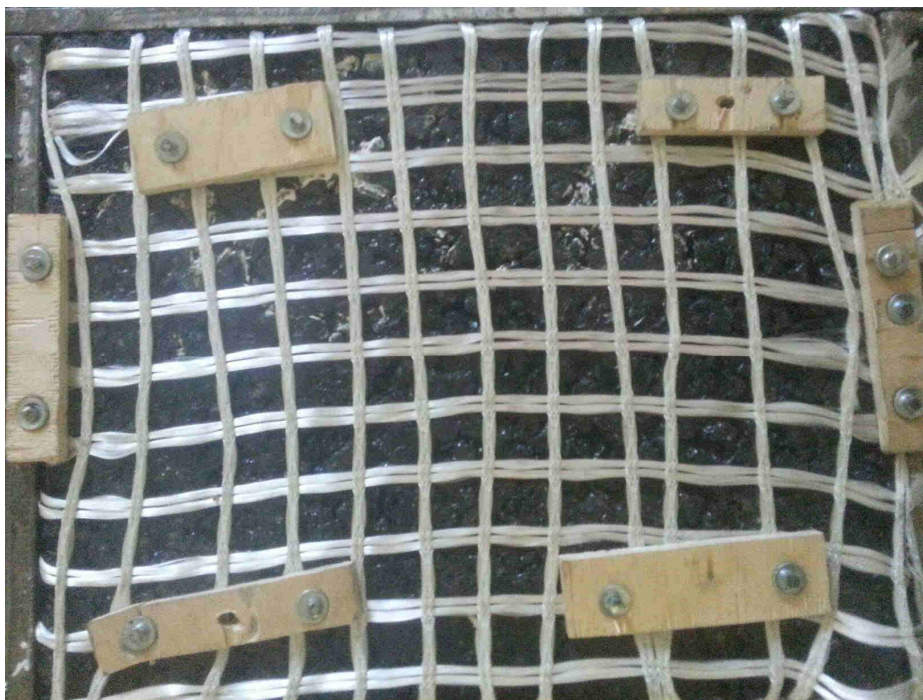
pohybu geomříží po povrchu. Po zkoušce byly vzorky mříží z asfaltových desek opatrně vyjmuty a následně postoupeny zkoušce pevnosti v tahu (viz kapitola 4.3).

4.1.3 Vzorky pro zkoušku vyjíždění kolem

Jako podklad bylo použito již dříve testovaných desek ACO 11+ otočených vrchní stranou dolů, neboť cílem není měřit hloubku vyjížděné koleje. Hlavním problémem při přípravě těchto vzorků je zamezení příčných a podélných pohybů mříže po povrchu asfaltové desky způsobem, který nezabraňuje nebo nelimituje funkci pojížděného kola. Z tohoto důvodu byly mříže připevněny k podkladu pomocí speciálních hřebů po obvodu podkladní desky. Při připevnění mříží bez polymerové ochrany, které mají horší soudržnost, a jejich napnutí bylo komplikovanější, bylo použito dřevěných destiček připevněných jako u předchozího případu geodetickými hřeby k asfaltové desce. Upevnění geomříží k podkladním deskám je zobrazeno na následujících obrázcích 8 a 9.



Obrázek 8: Upevnění geomříže s polymerovou ochranou



Obrázek 9: Upevnění geomříže bez polymerové ochrany

4.2 HUTNĚNÍ SEGMENTOVÝM ZHUTŇOVAČEM

4.2.1 Popis zkoušky

Postup zkoušky popisuje evropská norma ČSN EN 12697-33 [17]. Přístroj simuluje hutnění vozovky na stavbě pomocí ocelového segmentu části válce působícího na asfaltovou směs. (Přístroj pro hutnění viz Obrázek 10)

Před začátkem zkoušky je potřeba stanovit potřebné množství směsi pro výrobu zkušební desky. Toho lze docílit pomocí výpočtu z rozměrů desky a objemové hmotnosti asfaltové směsi. Jednotlivé frakce kameniva je nutné vysušit v laboratorní sušárně při teplotě 110 ± 5 °C. Pokud dvě po sobě jdoucí měření prováděné každou hodinu se neliší o více jak 0,1 % hmotnosti navážky, můžeme považovat kamenivo za vysušené. Při dosažení dané teploty a dostatečného obalení kameniva pojivem lze přistoupit k přesypání asfaltové směsi do předpřipravené formy na výrobu desek o rozměrech 300 mm x 500mm. Na takto připravenou směs je položen separační papír a krycí plech. Samotná zkouška nemá předem daný počet hutnících cyklů. Předvolenou hodnotou je pouze finální výška zhutněného prvku, které se postupně přibližujeme. Po dosažení této výšky

je vzorek považován za zhutněný. Následně je potřeba nechat vzorek vychladnout. Nakonec je forma rozebrána a desky jsou připravené k dalšímu testování.



Obrázek 10: Segmentový zhutňovač

4.2.2 Vzorky pro testování vlivu hutnění

Cílem této zkoušky je ověření vlastností testovaných geomříží po zhutnění nadložních vrstev vozovky. Z tohoto důvodu nelze zhotovit desku celou ze směsi s asfaltovým pojivem. Takový vzorek by nebylo možné bezpečně rozebrat a vyjmout testovanou geomříž pro ověření vlastností. Proto bylo využito spodní vrstvy z asfaltové směsi ACO 11+ tloušťky 50 mm, na kterou byla položena geomříž ze skelných vláken. V případě samolepící mříže bylo pod mříž použito potravinářské folie, z důvodu zamezení poškození geomříže opakovaným

odlepováním od podkladu a tím ovlivnění výsledků zkoušky. Deska byla uzavřena vrstvou směsi kameniva tl. 40 mm, kde byla použita voda místo asfaltového pojiva. Obsah kameniva a čára zrnitosti směsi byla navržena pro ohrusnou vrstvu ACO 11+ (dle kap. 5.2). Finální podoba vzorku je vidět na následujícím obrázku 11. Bylo testováno několik vzorků s různými typy geomříží, za použití stejné ložní vrstvy (ACO 11+) a stejné ohrusné vrstvy (směs kameniva se stejným složením jako má směs ACO 11+). Výsledkem zkoušky je vzorek geomříže určený k testování na únosnost v tahu, jehož vlastnosti jsou ovlivněny procesem hutnění vrstvy směsi kameniva.



Obrázek 11: Zhutněná vrstva s geokompozitem na úložné vrstvě

4.3 PEVNOST V TAHU SKLOVLÁKNITÝCH GEOMŘÍŽÍ

Tato zkouška se provádí dle norem ČSN EN-ISO 10319 [18] a ČSN EN-ISO 13934-1 [19]. Hlavní podstatou zkoušky je stanovení pevnosti v tahu vzorku sklovláknité geomříže pomocí zkušebního přístroje znázorněného na obrázku 12.

Jednou ze základních vlastností mříže je její pevnost v tahu, která rozhoduje o finálním využití daného produktu. Výrobce sám garantuje pevnost v tahu produktů. Pro testování bylo z každé role vyříznuto několik vzorků. Porovnání výsledných hodnot nepoškozených, poškozených pojezdem kola a poškozených hutněním je popsáno v kapitole 6 - Výsledky.

Samotná zkouška probíhá na vystřižených pruzích geomříže šířky 5 cm a minimální délky 20 cm z důvodu přichycení vzorků v přístroji. Vzhledem k velikosti ok 2,5 cm se v jednom testovacím vzorku nachází dvě vlákna geomříže. Z každé testované mříže bylo možné vyrobit hned několik (4 - 8) vzorků. Pevnost v tahu na neporušených vzorcích a vzorcích vystaveným účinkům hutnění je měřena v podélném i příčném směru role. Z mříží poškozených zkouškou vyjíždění kolem byl vystřižen pouze jeden vzorek v každé mříži v místě vyjeté koleje (podélný směr). Výsledná pevnost v tahu je vztažena k šířce vzorku 5 cm a proto je potřeba ji přepočítat na běžný metr.



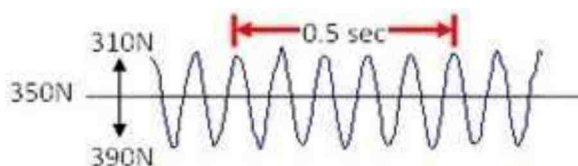
Obrázek 12: Test pevnosti v tahu geomříží

Zdroj: [20]

4.4 ZKOUŠKA 4-BODOVÝM OHYBEM

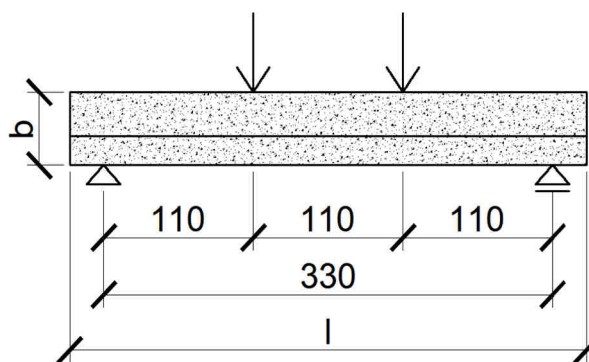
4.4.1 Popis zkoušky

Zkouška byla provedena dle normy ASTM 7460 [21]. Zatěžování probíhá na elektrohydraulickém zatěžovacím systému s použitím jednoho hydraulického válce s kapacitou 10 kN. Na zkušební trámec působí kmitání lisu se zatížením 350 ± 40 N. Frekvence kmitání je 10 Hz (průběh zatížení viz Obrázek 13). Vzdálenost podpor zkušebního vzorku je 330 mm. Teplota vzorků po dobu zkoušení je 18 °C. Zatěžovací válce jsou umístěny v třetinách rozpětí (viz Obrázek 14). Počet zatěžovacích cyklů není předem určen. Zkouška probíhá tak dlouho, dokud není ve vzorku dosaženo průhybu 3 mm pod zatěžovacím válcem nebo nedojde ke zlomení vzorku.



Obrázek 13: Průběh vnášeného zatížení dle ASTM 7460

Zdroj: [22]



Obrázek 14: Zatěžovací schéma testu (mm)

Zdroj: [22]

Tato zkouška byla prováděna pro porovnání vlivu vyztužení vzorků s použitím sklovláknitých geomříží s polymerovou ochranou a bez této ochrany. Byly vyrobeny tři zkušební trámce pro oba případy. Vzorky byly temperovány a testovány při teplotě 18 °C. Výsledkem zkoušky je textový soubor generovaný softwarem propojeným s elektrohydraulickým lisem. Software zaznamenává průhyb a sílu lisu v čase. Na následujícím obrázku je zobrazen zkušební přístroj s umístěným testovacím vzorkem.



Obrázek 15: Elektrohydraulický lis zatěžující trámec

4.4.2 Výroba desek pro zkušební trámce

Zkouška 4-bodovým ohybem se provádí na zkušebních trámcích o rozměrech 65 mm x 50,8 mm x 381 mm (dle normy ASTM 7460 [21]). Tyto trámce jsou vyrobeny rozřezáním asfaltových desek o rozměrech 300 mm x 500 mm x 90 mm. (Zkušební deska je tvořena asfaltovým souvrstvím dvou vrstev směsi ACO 11+, kdy spodní vrstva má tloušťku 50 mm a horní vrstva 40 mm). Samotné asfaltové desky se vyrábějí pomocí metody hutnění segmentovým zhutňovačem popsaného v kapitole 4.2.1. Hutnění souvrství asfaltových směsí probíhá ve 2 etapách, kdy nejprve je zhutněna a připravena vrstva ložní, na kterou je uložena geomříž a nanesen spojovací postřík z asfaltové emulze. Emulze byla rovnoměrně rozprostřena na položenou sklovláknitou mříž pomocí molitanového válečku. Množství spojovacího postříku záleží hlavně na typu používané geotextilie a její nasákavosti. V rámci bakalářské práce bylo použito množství 0,25 kg/m² zbytkového asfaltu. Po uplynutí doby nutné pro vyštěpení spojovacího postříku (24 h) můžeme přistoupit k druhému kroku, tj. na geomříž zhotovit druhou vrstvu asfaltové směsi - obrusnou. Po zhutnění a vychladnutí jsou desky připravené k dalšímu zpracování, kterým je vyřezání jednotlivých trámců.



Obrázek 16: Řezání zkušebních trámců z asfaltové desky

4.4.3 Výroba zkušebních trámců

Řezání probíhá na pile s diamantovým kotoučem za konstantního přítoku vody z důvodu chlazení (viz Obrázek 15). Z desek se vyrobí zkušební trámce o daných rozměrech. Trámce jsou vyřezány tak, aby spodní vrstva pod mříží měla tloušťku 30,4 mm a horní vrstva, nad mříží, měla tloušťku 20,4 mm. Vzhledem k tomu, že původní zkušební deska měla pod mříží tloušťku 50 mm a nad mříží tloušťku 40 mm, zkušební vzorek je tak vyřezán z prostředku, kde došlo k nejlepšímu zhutnění. Z jedné desky jsou vyřezány tři zkušební trámce způsobem znázorněným na Obrázku 16. Každý trámec má ve své šířce tři prameny geomříže, která je umístěna tak, aby byla rovnoběžná s podélným okrajem desky. Ze zkušebních desek byl následně ponechán jeden vzorek na okraji o šířce cca 100 mm sloužící pro stanovení míry zhutnění.



Obrázek 17: Vyřezané zkušební trámce z asfaltové desky

5 MATERIÁLY POUŽITÝCH VZORKŮ

V následujících kapitolách jsou uvedeny všechny materiály použité v praktické části práce.

5.1 SKLOVLÁKNITÉ GEOMŘÍŽE

V rámci praktické části bakalářské práce byla použita sklovláknitá mříže v různém provedení dodaná jedním výrobcem:

- samolepící s coatingem;
- nelepící s coatingem;
- bez coatingu.

Základní parametry těchto geomříží jsou specifikovány v následující tabulce 4:

Pevnost v tahu Podélně x příčně	Tahové prodloužení	Tahová odolnost při 2% prodloužení	Modul přetvárnosti (E)
[kN/m]	[%]	[kN/m]	[MPa]
115 x 115 -15	2,5 +/- 0,5	95 x 95 +/- 20	73 000
Hmotnost	Bod tání skla	Bod tání coatingu	Velikost ok mříže
[g/m ²]	[°C]	[°C]	mm
405	820	232	25 x 25

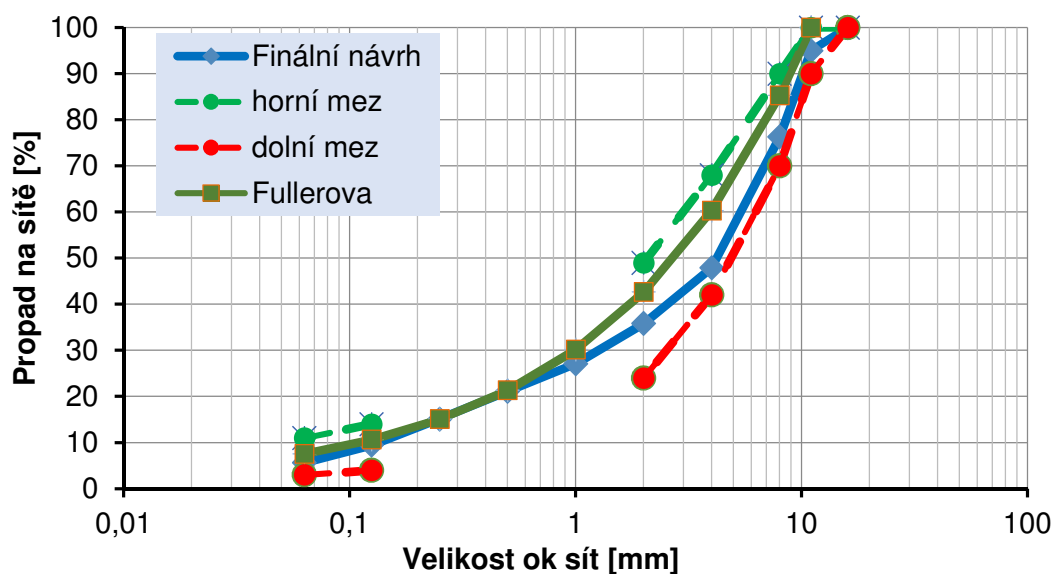
Tabulka 4: Vlastnosti použitých geomříží



Obrázek 18: Sklovláknitá geomříž bez polymerové ochrany (vlevo) a s polymerovou ochranou (vpravo)

5.2 SMĚS ACO 11 S POUŽITÍM VODY JAKO POJIVA PRO SIMULACI HUTNĚNÍM

Pro účely bakalářské práce byla navržena a připravena směs kameniva, která má složení podobné, jako běžně používaná asfaltová směs ACO 11 +. Jediným rozdílem bylo, že tato směs obsahuje namísto asfaltu pouze vodu. Množství vody je 5,6 % hmotnosti směsi. V následujícím obrázku č. 19 a tabulce č. 5 je uvedeno složení této směsi. Pro směs bylo použito kamenivo frakcí 0/4, 4/8, 8/11 mm a vápencová moučka



Obrázek 19: Čára zrnitosti ACO 11

Velikost ok sít (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Horní mez (%)	11	14	X	X	X	49	68	90	100	100	100	100
Dolní mez (%)	3	4	X	X	X	24	42	70	90	100	100	100
Fullerova parabola (%)	7,6	10,7	15,1	21,3	30,2	42,6	60,3	85,3	100	100	100	100
Návrh (%)	5,7	9,5	15,1	21,1	27,1	35,8	47,9	76,3	95,0	100	100	100

Tabulka 5: Křivka zrnitosti ACO 11+ pro zkoušku simulace účinků hutnění

Z grafu je patrné, že navržená směs kameniva splňuje požadavky na dolní a horní mez dle ČSN EN 13108-1 [23] pro asfaltový beton ACO 11+.

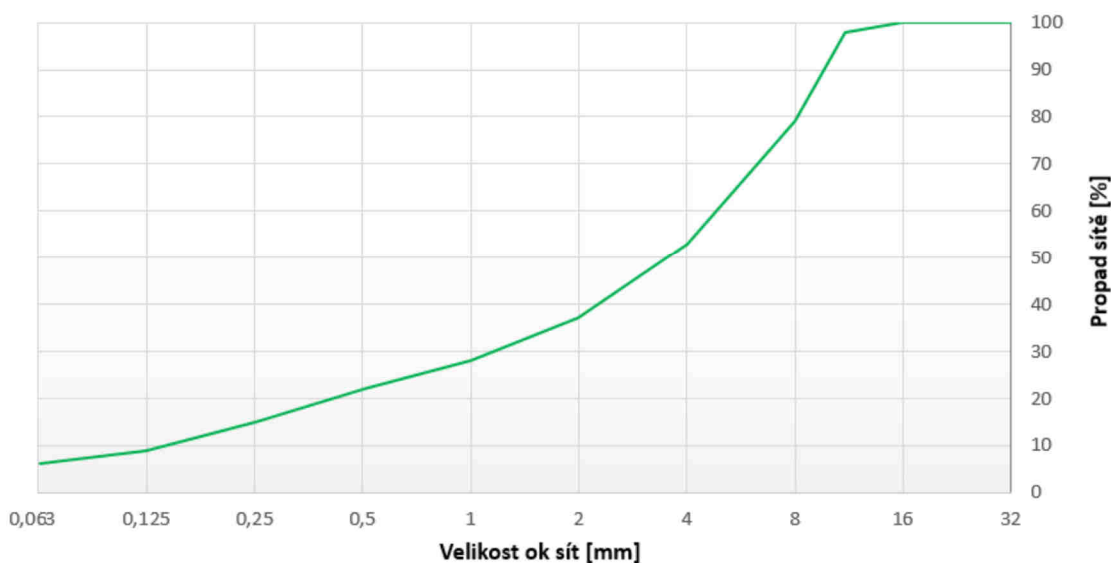
5.3 SMĚS ACO 11+ PRO VÝROBU DESEK NA ZKOUŠKU 4-BODOVÝM OHYBEM

Pro výrobu vzorků vyztužených sklovláknitými mřížemi byla použita směs asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11+. Tato směs je nejrozšířenější formou asfaltové směsi do obrusné vrstvy netuhé vozovky. Asfaltová směs byla odebrána z běžné výroby na obalovně v Rajhradcích. Tato směs byla použita pro všech 6 zkušebních trámců. Vlastnosti asfaltové směsi ACO 11+ jsou uvedeny v tabulce 6 a 7 a obrázku 20.

Typ pojiva	50/70
Obsah pojiva [%]	5,7
Maximální objemová hmotnost [kg/m ³]	2464
Objemová hmotnost asfaltové směsi [kg/m ³]	2353
Mezerovitost [%]	4,5
Teplota hutnění [°C]	155

Tabulka 6: Vlastnosti asfaltové směsi ACO 11+

Čára zrnitosti směsi ACO 11+



Obrázek 20: Čára zrnitosti směsi ACO 11+

Velikost ok sít (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	11	16	22	32
Propad (%)	6,2	9,0	15,0	22,0	28,0	37,0	53,0	79,0	98,0	100	100	100

Tabulka 7: Čára zrnitosti směsi ACO 11+

5.4 ASFALTOVÁ EMULZE

Pro spojení jednotlivých asfaltových vrstev při výrobě vzorků pro zkoušku 4-bodovým ohybem a zajištění adheze geomříží bylo použito 60 % asfaltové emulze KATEBIT 60 PS. Tato emulze obsahuje 60 % asfaltu a 40 % vody.

5.5 MÍRA ZHUTNĚNÍ ASFALTOVÉ SMĚSI PRO ZKOUŠKU 4-BODOVÝM OHYBEM

Na vzorcích pro zkoušku 4-bodovým ohybem byla dodatečně měřena míra zhutnění. Důvodem je to, že se zkušební deska skládá ze dvou vrstev, a proto byla každá hutněna samostatně. Po vychladnutí desky a vyřezání trámčů bylo na zbylé části vzorku provedeno měření. Vzorek byl rozdělen pomocí dláta v místě spoje dvou asfaltových desek a došlo k vyjmutí geomříže. Geomříž by při zkoušce mohla pojmout vodu a tím ovlivnit její výsledky. Poté se každá vrstva váží za sucha, ve vodě a v mokrému stavu. Vzorek v mokrému stavu byl namočen ve vodě po dobu 30 minut a poté osušen tak, aby byla odstraněna pouze povrchová voda. Výpočet objemové hmotnosti byl proveden dle ČSN EN 12697-6+A1 [24] následovně.

$$\rho_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w$$

kde ρ_{bssd} je objemová hmotnost SSD, v kg/m³

m_1 hmotnost suchého tělesa v g

m_2 hmotnost tělesa ve vodě, v g

m_3 hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného, v g

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě stanovená s přesností na 1 kg/m³

Výsledná objemová hmotnost byla porovnána s objemovou hmotností asfaltové směsi ACO 11+. Hustota vody závislá na teplotě byla určena dle tabulky 1 normy ČSN EN 12697-8 [24]. Výsledná hustota vody a teplota vody v laboratoři jsou zaznamenány v následující tabulce č. 8.

Teplota vody (T) [°C]	Hustota vody (ρ) [kg/m ³]
19,7	998,3

Tabulka 8: Teplota a hustota vody v laboratoři

Určení míry zhutnění a zaznamenání dat je znázorněno v následující tabulce č. 9. Z tabulky je vidět, že zkušební tělesa jsou dostatečně zhutněna. Míra zhutnění se pohybuje v toleranci $100 \% \pm 1 \%$ s výjimkou vzorku 3. Ten však dosáhl míry zhutnění téměř 99 %.

	Vzorek 1 Obrusná vrstva mříž s coatingem	Vzorek 2 Ložní vrstva mříž s coatingem	Vzorek 3 Obrusná vrstva mříž bez coatingu	Vzorek 4 Ložní vrstva mříž bez coatingu
Suchý (m_1) [g]	2499,2	2914,6	1825,4	2173,6
Pod vodou (m_2) [g]	1447,4	1696,8	1057,2	1253,8
Mokrý (m_3) [g]	2511,6	2949,0	1830,2	2187,0
Obj. hm. - nasycený (ρ_{bssd}) [kg/m ³]	2344,4	2323,6	2357,4	2325,2
Obj. hm. - Marshallových t. ($\rho_{návrh}$) [kg/m ³]	2353,0	2353,0	2353,0	2387,0
Míra zhutnění [%]	99,63	98,75	100,19	99,97

Tabulka 9: Určení míry zhutnění vzorků pro zkoušku 4-bodovým ohybem

6 VÝSLEDKY

6.1 ZKOUŠKA 4-BODOVÝM OHYBEM

Výsledným parametrem této zkoušky je především fakt, zda testované vzorky dosáhly limitního průhybu 30 mm pod zatěžovacím válcem nebo zda a jakým způsobem došlo k jejich porušení. Hodnoty jsou znázorněny v grafech, kde je závislost na změně průhybu v čase vlivem průběhu zatěžování (obrázek 22 a 26). Na fotografiích testovaných vzorků lze vidět rozvoj trhlin (obrázek 21 a 25). Výsledná data vygenerovaná softwarem elektrohydraulického lisu byla zpracována v programu Excel.

6.1.1 Vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu

Testy byly prováděny dle ASTM 7460 [21] na sérii tří zkušebních trámců vyrobených z jedné desky (viz kapitola 4.4). Bohužel vlivem chyby přístroje došlo k porušení vzorku číslo 1, a proto nemohly být použity výsledky tohoto prvního zkušebního tělesa.

Rozměry jednotlivých trámců se nepatrně liší od rozměrů zkušebních těles [65 mm x 50,8 mm (30,4 mm + 20,4 mm) x 381 mm] z důvodu způsobu řezání trámců, který nedovoluje dokonale přesné řezy. Výsledné rozměry trámců jsou uvedeny v následujících tabulkách 10 a 11. Jednotlivé rozměry byly měřeny třikrát na každém trámci a pro další vyhodnocení byla použita průměrná hodnota.

Označení trámce:	8511 - 2 - bez		Číslo vzorku: II			
	1	2	3	Ø		
Šířka a [mm]	66,60	66,80	69,00	67,5		
Tloušťka b [mm]	51,30	51,60	51,00	51,3		
Nad sítí / Pod sítí [mm]	30,50	20,60	30,40	21,00	30,30	20,70
Teplota hutnění [°C]	155	Délka [mm]		381		

Tabulka 10: Rozměry trámce 8511-2-bez

Označení trámce:	8511 - 3 - bez		Číslo vzorku: III			
	1	2	3	Ø		
Šířka a [mm]	65,50	65,50	65,40	65,5		
Tloušťka b [mm]	50,80	51,30	51,20	51,1		
Nad sítí / Pod sítí [mm]	28,80	22,40	29,20	21,60	28,30	22,90
Teplota hutnění [°C]	155	Délka [mm]		381		

Tabulka 11: Rozměry trámce 8511-3-bez

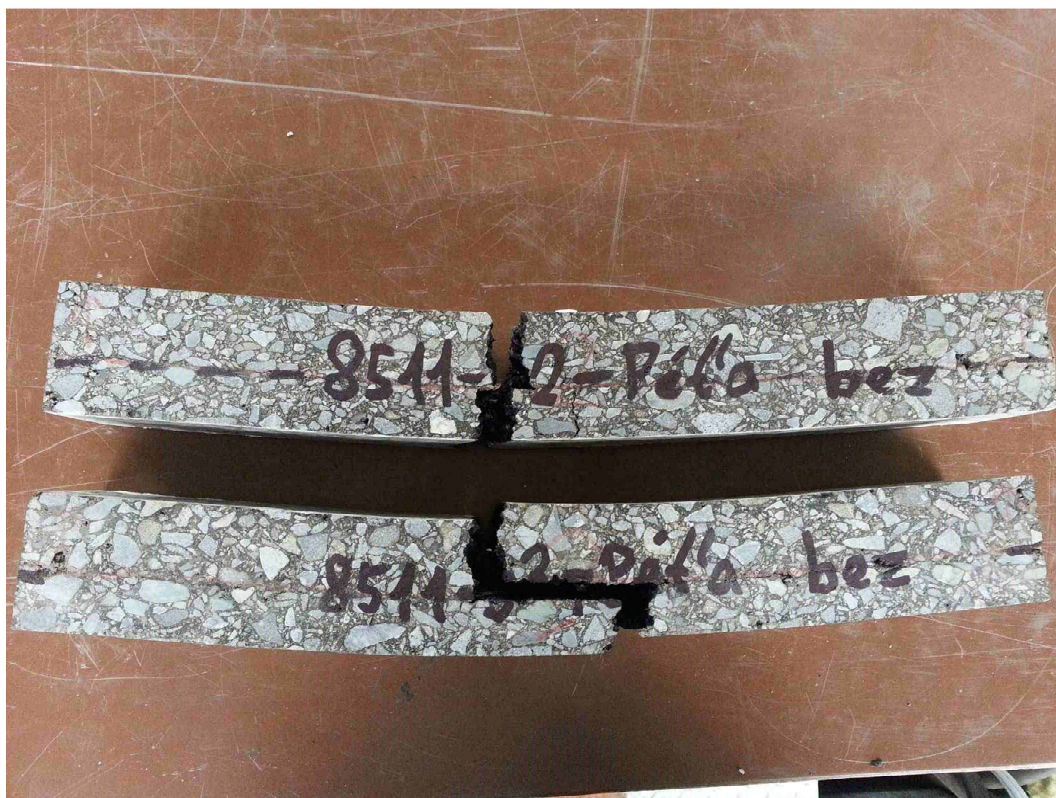
6.1.1.1 Vyhodnocení pomocí průhybu vzorku v čase

Ani jeden z testovaných vzorků bez polymerové ochrany nedosáhl limitního průhybu 30 mm a oba testy proto skončily porušením vzorku.

U vzorku 8511-2-bez došlo k prokopírování trhliny do horní vrstvy ve stejném místě, kde vznikla trhlina spodní vrstvy a k následnému rozlomení vzorku při průhybu 13,4 mm.

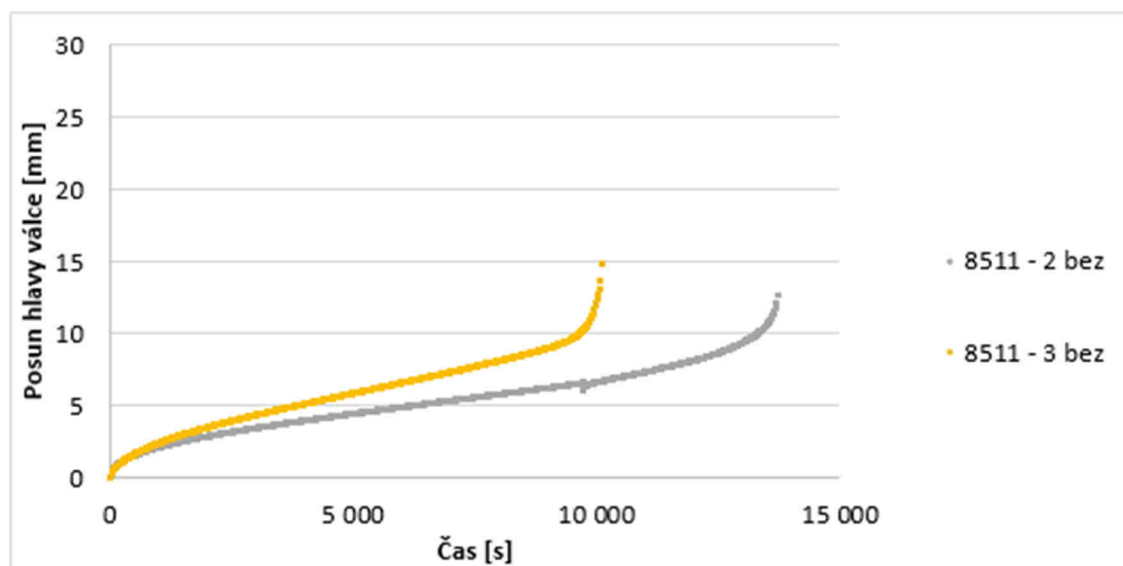
Ve vzorku 8511-3-bez sklovláknitá geomříž částečně zachytila tahová napětí v místě vzniku trhliny spodní vrstvy, ale následně došlo k usmyknutí jednotlivých asfaltových vrstev a následnému vzniku trhliny v horní vrstvě a přetržení sklovláknité geomříže. Porušení vzorku 8511-3-bez nastalo při průhybu 15,2 mm.

Na následujícím obrázku 21 jsou vyfoceny testované trámce se sklovláknitou geomříží bez polymerové ochrany po ukončení jednotlivých zkoušek.



Obrázek 21: Vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu po zkoušce 4-bodovým ohybem

Změna průhybu zatěžovacího válce v čase je znázorněna na následujícím obrázku 22. U vzorku 8511-3-bez došlo v čase 9711 s k přerušení zkoušky z důvodu chyby softwaru. Test byl znovu zapnut, ale v průběhu odstavení došlo k částečnému návratu pružných deformací.



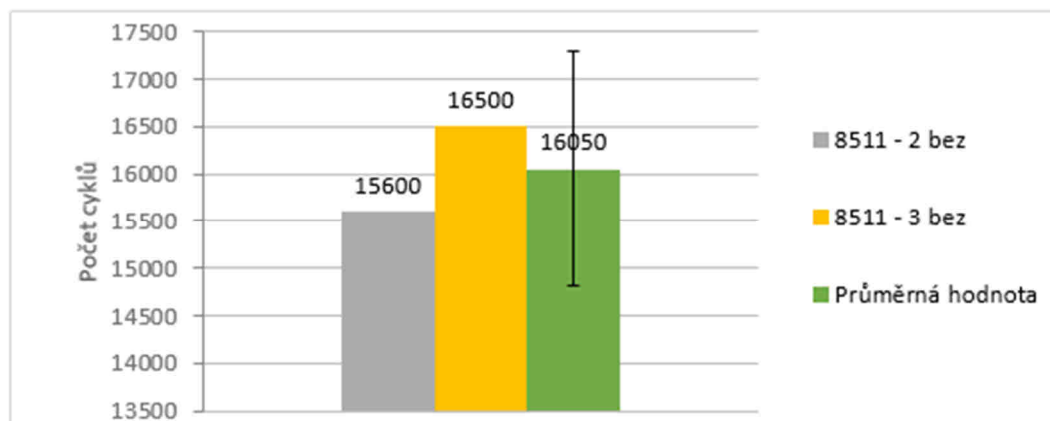
Obrázek 22: Změna průhybu vzorků se sklovláknitou geomříží bez polymerové ochrany v čase

6.1.1.2 Vyhodnocení výsledků pomocí metody tečen

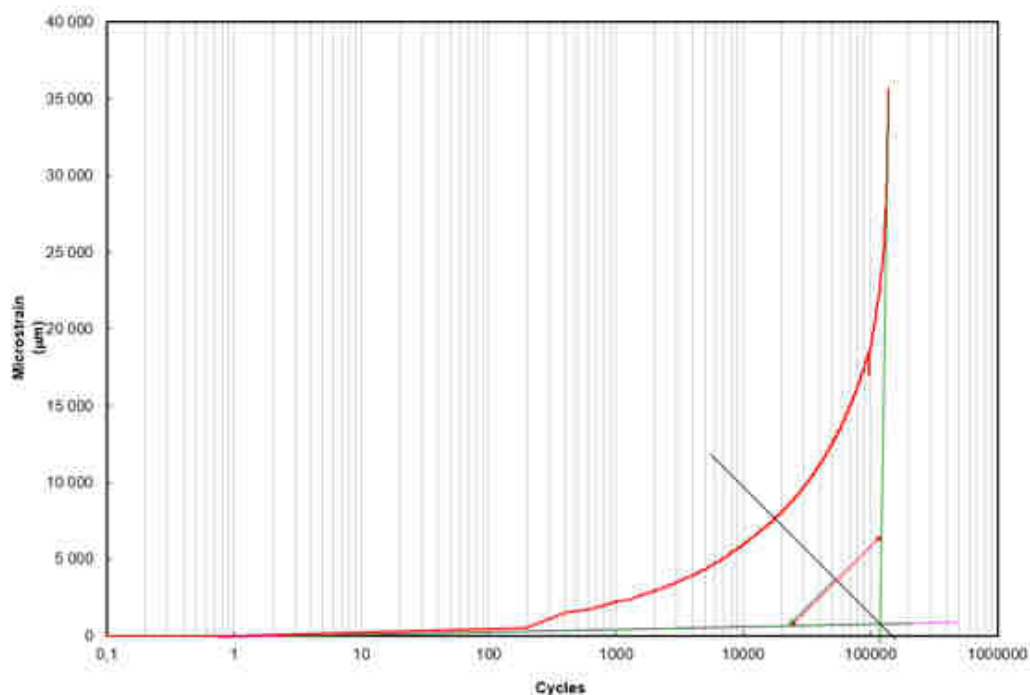
Alternativní metodou k vyhodnocení výsledků je určení počtu cyklů, při kterém dochází k aktivaci mříže. Tento postup číselného vyhodnocení je převzatý z vyhodnocování šíření trhlin ve vzorku nevyztuženého sítí při zatížení příčným tahem. [25] Počet cyklů, při kterém dochází k aktivaci mříže (fáze II), se určuje pomocí metody tečen při zobrazení nárůstu deformace na svislé ose v lineárním měřítku v závislosti na čase v logaritmickém měřítku (viz obrázek 24). Tento počet cyklů je dán průsečíkem zatěžovací křivky (červená křivka) a osy úhlu mezi tečnou na počátku měření (fáze I, celistvý průřez) a na konci měření (fáze III, nekontrolované šíření trhlin v průřezu) [22]. Vyhodnocení výsledků pro prvek vyztužený sklovláknitou geomříží bez polymerové ochrany je zaznamenáno v grafu (obrázek 23) a tabulce 12.

Označení vzorku:	8511-1-BEZ	8511-2-BEZ	8511-3-BEZ	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	%
Počet cyklů:	0	17800	15600	16700	1100	6,6
Ukončení testu:	u = 0 mm	u = 24 mm	u = 30 mm			

Tabulka 12: Počet cyklů při aktivaci výztužné mříže bez coatingu



Obrázek 23: Výsledky vyhodnocení pomocí metody tečen pro vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu



Obrázek 24: Ukázka vyhodnocení vzorku pomocí metody tečen (vzorek 8511-2-bez)

6.1.2 Vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem

Rozměry trámců se sklovláknitou geomříží ošetřenou coatingem jsou uvedeny v následujících tabulkách 12,13 a 14. Jednotlivé rozměry byly měřeny třikrát na každém trámci a pro další vyhodnocení byla použita průměrná hodnota.

Označení trámce:	8511 - 1+		Číslo vzorku: I			
	1	2	3	Ø		
Šířka a [mm]	66,00	65,40	65,00	65,5		
Tloušťka b [mm]	51,20	51,20	51,10	51,2		
Nad sítí / Pod sítí[mm]	29,70	21,40	30,50	21,10	31,90	19,60
Teplota hutnění [°C]	155	Délka [mm]		381		

Tabulka 13: Rozměry trámce 8511-1+

Označení trámce:	8511 - 2+		Číslo vzorku: II			
	1	2	3	Ø		
Šířka a [mm]	67,20	67,20	67,30	67,2		
Tloušťka b [mm]	50,80	51,40	50,80	51,0		
Nad sítí / Pod sítí[mm]	30,90	19,40	31,20	20,40	30,00	20,00
Teplota hutnění [°C]	155	Délka [mm]		381		

Tabulka 14: Rozměry trámce 8511-2+

Označení trámce:	8511 - 3+		Číslo vzorku: III			
	1	2	3	Ø		
Šířka a [mm]	65,40	65,40	64,90	65,2		
Tloušťka b [mm]	51,00	51,00	50,80	50,9		
Nad sítí / Pod sítí[mm]	31,00	19,90	30,70	20,00	28,80	21,40
Teplota hutnění [°C]	155	Délka [mm]		381		

Tabulka 15: Rozměry trámce 8511-3+

6.1.2.1 Vyhodnocení pomocí průhybu vzorku v čase

Zkouška vzorku 8511-1+ byla ukončena dosažením limitního průhybu $u = 30$ mm pod zatěžovacími válci. Ve vzorku vznikla trhлина spodní vrstvy poblíž střední části. Výztužná geomříž přenesla takové síly a výrazně zpomalila šíření trhlin do horní vrstvy. Ke vzniku malých trhlin v horní vrstvě došlo až při finálních hodnotách průhybu. Došlo také k usmyknutí pravé části spodní vrstvy v úrovni geomříže.

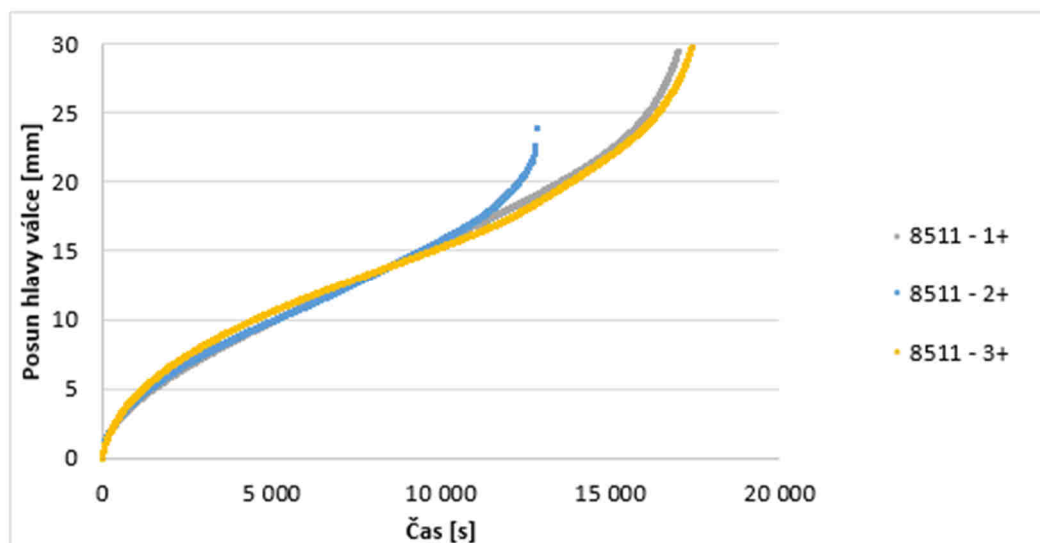
Vzorek 8511-2+ nedosáhl průhybu 30 mm a došlo k jeho porušení již při průhybu $u = 24$ mm. Ve vzorku došlo ke vzniku trhliny poblíž střední části ve spodní vrstvě a následnému prokopírování do horní vrstvy. Geomříž přenesla část tahových zatížení, ale v průběhu zkoušky došlo k jejímu přetržení v místě trhliny.

Poslední vzorek 8511-3+ měl téměř identický průběh deformací i typ porušení jako první vzorek 8511-1+. Zkouška skončila vyčerpáním limitního průhybu $u = 30$ mm a došlo k usmyknutí pravé části spodní vrstvy od trhliny v úrovni vyztužení. Došlo zde k zastavení šíření trhliny geomříže.

Následující obrázek 25 znázorňuje formu porušení vzorků se sklovláknitou geomříží opatřenou coatingem. Na obrázku 26 je vyhodnocení změny deformací v čase.



Obrázek 25: Vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem po zkoušce 4-bodovým ohybem



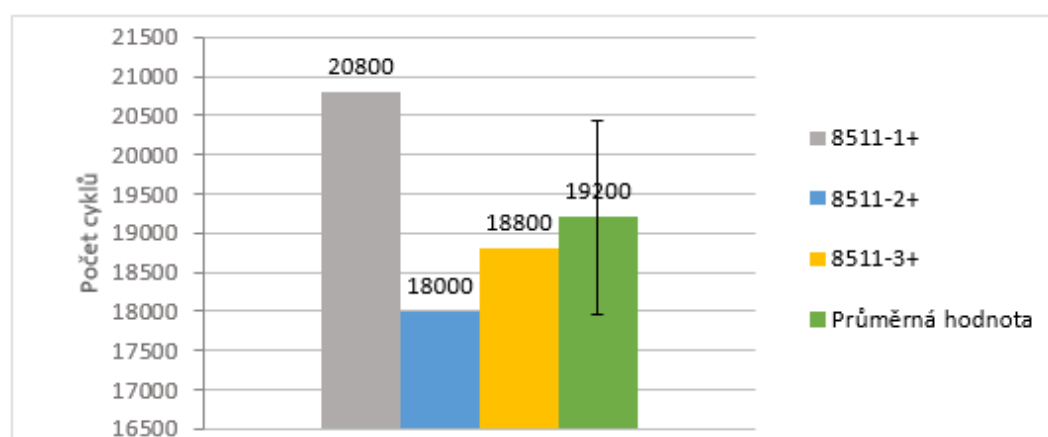
Obrázek 26: Změna průhybu vzorků se sklovláknitou geomříží s polymerovou ochranou v čase

6.1.2.2 Vyhodnocení výsledků pomocí metody tečen

Výsledná data zjištěná pomocí metody tečen (obrázek 24) jsou znázorněna v následující tabulce 16 a grafu (obrázek 27)

Označení vzorku:	8511-1+	8511-2+	8511-3+	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	%
Počet cyklů:	20800	18000	18800	19200	1178	6,1
Ukončení testu:	u = 30 mm	u = 24 mm	u = 30 mm			

Tabulka 16: Počet cyklů při aktivaci výztužné mříže s coatingem



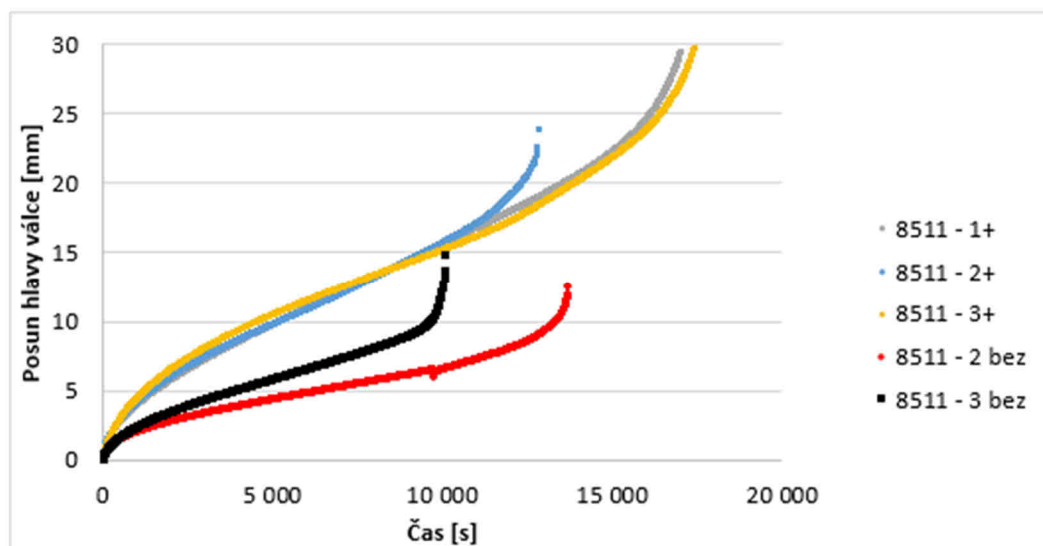
Obrázek 27: Výsledky vyhodnocení pomocí metody tečen pro vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem

6.1.3 Porovnání výsledků

Zkoušky byly prováděny na trámciích přibližně stejných rozměrů s použitím geomříže stejné tahové pevnosti, ale různého typu ochrany. Jedna série vzorků byla s polymerní ochranou a druhá bez této ochrany.

6.1.3.1 Porovnání výsledků dle průhybu trámců v čase

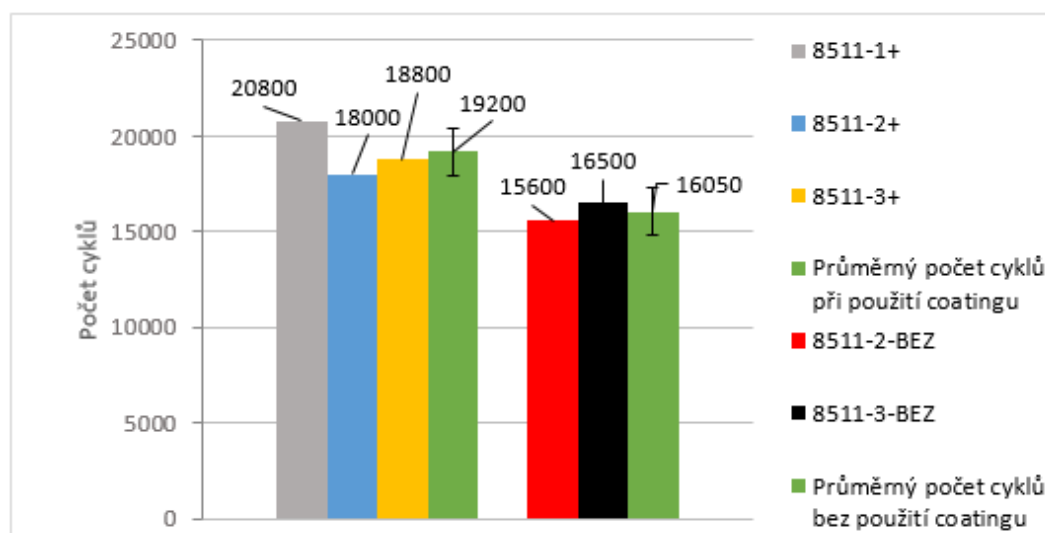
Z výsledků je zřejmé, že polymerní ochrana vláken má výrazný vliv na celkovou funkci geomříže a tím i na únosnost zkušebních trámců. Následující graf (obrázek 28) porovnává výsledky zkoušek. Je zřetelné, že trámce se sklovláknitými mřížemi ochráněnými coatingem jsou odolnější vůči zatěžování a dovolují dosažení větších průhybů než trámce se sklovláknitými mřížemi bez coatingu. Lze také konstatovat, že u zkušebních vzorků s mříží s polymerní ochranou došlo k zastavení či výraznému zpomalení šíření trhlin do vrstvy nad mříží, zatímco u vzorků s mříží bez polymerní ochrany se trhlina prokopírovala až na povrch přes horní vrstvu.



Obrázek 28: Porovnání výsledků dle průhybu trámců v čase

6.1.3.2 Porovnání výsledků pomocí metody tečen

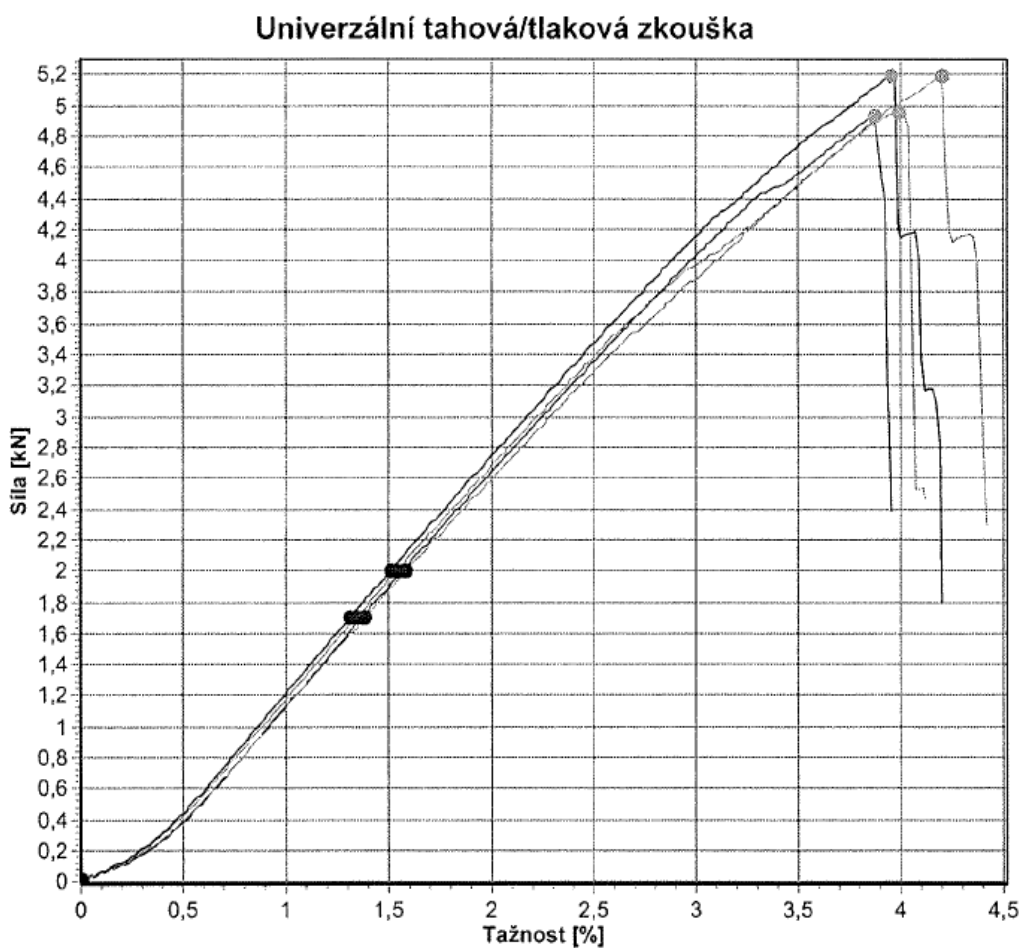
Porovnáním výsledků dle metody tečen zjistíme, že k aktivaci mříže došlo u vzorků s polymerní ochranou při větším počtu cyklů, avšak rozdíl není až tak významný. Podstatné je, že k aktivaci mříží došlo v podobnou dobu, ale jejich únosnost se díky coatingu významně lišila.



Obrázek 29: Porovnání výsledků pomocí metody tečen

6.2 PEVNOST V TAHU POUŽITÝCH GEOMŘÍŽÍ

Tato zkouška byla prováděna na proužcích rozměrů 5 cm x 20 cm vystřižených ze vzorků sklovláknitých geomříží po jednotlivých zkouškách, resp. na nových, neporušených vzorcích. Různé rozměry výchozích vzorků po provedených zkouškách jsou důvodem různých počtů testovaných proužků. Naměřené pevnosti v tahu jsou následně přepočítány z šířky 5 cm na 1 běžný metr. Na následujícím obrázku 30 je znázorněn příklad průběhu zkoušky a její záznam do diagramu, kdy na svislé ose je hodnota tahové síly působící na geomříž v kN a na vodorovné ose tažnost geomříže v % poměru vůči celkové délce vzorku (20 cm).



Obrázek 30: Záznam tahové zkoušky do diagramu (referenční vzorek nesamolepící – podélný směr)

6.2.1 Referenční nepoškozené vzorky

Z obou rolí, ze kterých byly vystřiženy testovací vzorky sklovláknitých geomříží s coatingem, byly vystřiženy vzorky referenční. Tyto vzorky byly vystaveny zkoušce v tahu, aby bylo možné porovnání jednotlivých výsledků se skutečným původním stavem vzorku. Výsledné hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 17. Výsledky, které se značně lišily, byly vyřazeny z finálního posouzení.

Označení vzorku	AR		BR	
Charakteristika mříže	Referenční - nesamolepící		Referenční - samolepící	
Pevnost v tahu [N/5cm]	Podélná	Příčná	Podélná	Příčná
Vzorek 1	4933	4951	3919	5219
Vzorek 2	5185	5466	3604	5270
Vzorek 3	5190	5210	3874	5658
Vzorek 4	4951	5278	3785	5317
Vzorek 5	5212	-	-	-
Vzorek 6	5360	-	-	-
Vzorek 7	5153	-	-	-
Vzorek 8	5333	-	-	-
Průměrná [N/5cm]	5165	5226	3796	5366
Průměrná [kN/m]	103,3	104,5	75,9	107,3

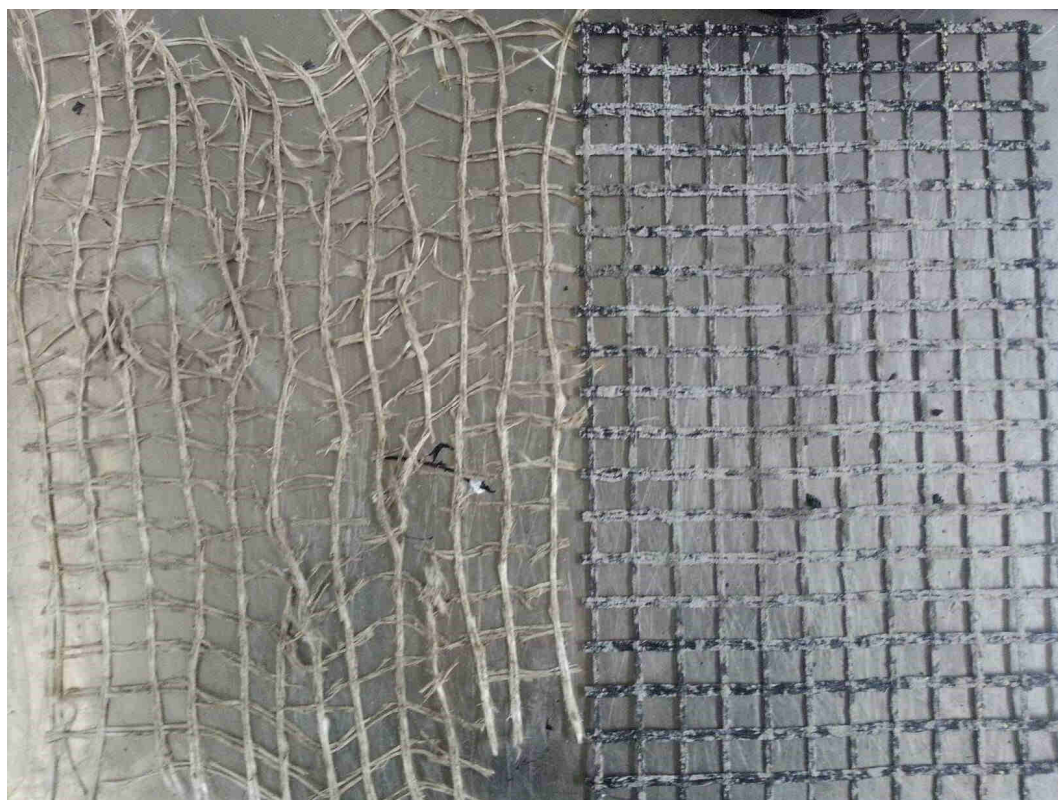
Tabulka 17: Pevnost v tahu referenčních vzorků

6.2.2 Vzorky vystavené účinku hutnění

Vlivu hutnění byly vystavené geomříže s polymerní ochranou bez lepidla (A), geomříže samolepící s polymerní ochranou (B) a geomříže bez polymerní ochrany (C).

Mříže s polymerní ochranou, ať už se jednalo o samolepící či nelepící, odolaly hutnění, ale došlo ke vzniku narušení struktury vzorku (vzorky byly měkké).

Vzorek bez polymerní ochrany však nevydržel zatížení způsobené účinky hutnění, tj. tlakem zrn kameniva během hutnění a došlo k jeho celkovému výraznému poškození. Na několika místech se tato mříž zcela rozpadla (viz obrázek 31 vlevo). Z tohoto důvodu nebylo vůbec možné na mříži bez coatingu provést zkoušku pevnosti v tahu. Výsledky provedených zkoušek jsou zaznamenány v následující tabulce 18.



Obrázek 31: Mříž bez coatingu (vlevo) a mříž s coatingem (vpravo) po zkoušce hutnění

Označení vzorku	A1		B1		C1
Charakteristika mříže	Nesamolepící - vystavená hutnění		Samolepící - vystavená hutnění		Bez coatingu - vystavená hutnění
Pevnost v tahu [N/5cm]	Podélná	Příčná	Podélná	Příčná	Mříž se vlivem hutnění rozpadla na skelná vlákna, pevnost neměřitelná
Vzorek 1	1211	3043	2612	2382	
Vzorek 2	1172	3584	2900	1827	
Vzorek 3	1526	4207	3072	-	
Vzorek 4	1404	2131	3005	-	
Průměrná [N/5cm]	1328	3241	2897	2105	
Průměrná [kN/m]	26,6	64,8	57,9	42,1	

Tabulka 18: Pevnosti v tahu vzorků vestaveným hutnění

6.2.3 Vzorky vystavené pojezdu kola

Pojezdu kola vyjížděče kolejí byly vystavené geomříže s polymerní ochranou bez lepidla (A), geomříže samolepící s polymerní ochranou (B) a geomříže bez polymerní ochrany (C). Všechny tyto vzorky byly testovány za konstantní teploty 30 °C. Navíc byla provedena zkouška na nelepícím vzorku mříže s coatingem při teplotě 40 °C pro stanovení vlivu zvýšené teploty na vlastnosti mříže při pojezdu stavební technikou.

Obě mříže s polymerní ochranou vykazovaly na pohled pouze mírné poškození v místě vyjeté koleje. U vzorku se samolepící stranou mohlo však z důvodu jeho odlepování po dokončení testu od podkladní desky dojít k částečnému ovlivnění výsledků.

U mříže bez coatingu došlo v místě vyjížděné koleje ke kompletnímu zničení vzorku. Došlo k rozlámání jednotlivých vláken a vzorek se v místě vyjížděné koleje „vtiskl“ do podkladní desky vytvořené z asfaltové směsi (viz obrázek 32). Nebylo tedy možné na této mříži změřit výslednou pevnost v tahu.



Obrázek 32: Vzorek sklovláknité geomříže bez coatingu vystavený pojezdu kola

Z každého vzorku mříže byl vystřižen pouze jeden vzorek 5 cm x 20 cm v místě vyjeté koleje, na kterém byla měřena výsledná pevnost v tahu. Kolej byla vyjeta v podélném směru vzorku, tedy byla měřena pevnost v podélném směru. Výsledné pevnosti v tahu jsou uvedeny v tabulce 19.

Označení vzorku	A2	A3	B2	C2
Charakteristika mříže	Nesamolepící - po vyjetí kolem 30 °C	Nesamolepící - po vyjetí kolem 40 °C	Samolepící - po vyjetí kolem 30 °C	Bez coatingu - vystavená hutnění
	Podélná	Podélná	Podélná	Mříž se vlivem pojezdu kola rozpadla, pevnost neměřitelná
Pevnost v tahu [N/5cm]	3583	1733	1009	
Pevnost v tahu [kN/m]	71,66	34,66	20,18	

Tabulka 19: Pevnosti v tahu vzorků v místě vyjeté koleje

6.2.4 Porovnání výsledků

Z uvedených výsledků je zřejmé, že vlivem hutnění segmentovým zhutňovačem došlo ke snížení pevnosti v tahu daných vzorků. Jednotlivá měření však vykazují výrazné rozdíly. U samolepící mříže se snížila pevnost v příčném směru o 74 % a v podélném o 38 %. U nesamolepící mříže došlo k poklesu pevnosti v tahu u podélného směru o 24 %, zatímco v příčném o 61 %. Výsledné pevnosti v tahu vzorků vystavených hutnění jsou porovnány s referenčními vzorky v následující tabulce 20.

Označení vzorku	AR		A1		BR		B1	
Charakteristika mříže	Referenční - nesamolepící		Nesamolepící - vystavená hutnění		Referenční - samolepící		Samolepící - vystavená hutnění	
	Podélná	Příčná	Podélná	Příčná	Podélná	Příčná	Podélná	Příčná
Pevnost v tahu [N/5cm]	5165	5226	1328	3241	3796	5366	2897	2105
Pevnost v tahu [kN/m]	103,3	104,5	26,6	64,8	75,9	107,3	57,9	42,1
Pokles vůči ref. vzorku [%]	-	-	74%	38%	-	-	24%	61%
Procent pův. hodnoty [%]	100%	100%	26%	62%	100%	100%	76%	39%

Tabulka 20: Porovnání pevnosti v tahu vzorků vystavených hutnění s referenčními vzorky

Změna pevnosti v tahu vlivem vyjíždění koleje se také pohybuje v řádech desítek procent. Je však nutné brát v potaz to, že zkouška byla provedena na 5000 cyklech, což je na stavbě nereálný případ a zkouška je tedy předimenzována. U samolepící mříže za teploty 30 °C došlo k poklesu pevnosti v tahu o 42 %. U mříží bez samolepící úpravy se za teploty 30 °C snížila pevnost o 31 % a za teploty 40 °C došlo ke snížení o 66 %. Zvýšení teploty tedy způsobilo zhoršení vlastnosti geomříže, avšak nutno říci, že vlivem zvýšení teploty dochází ke

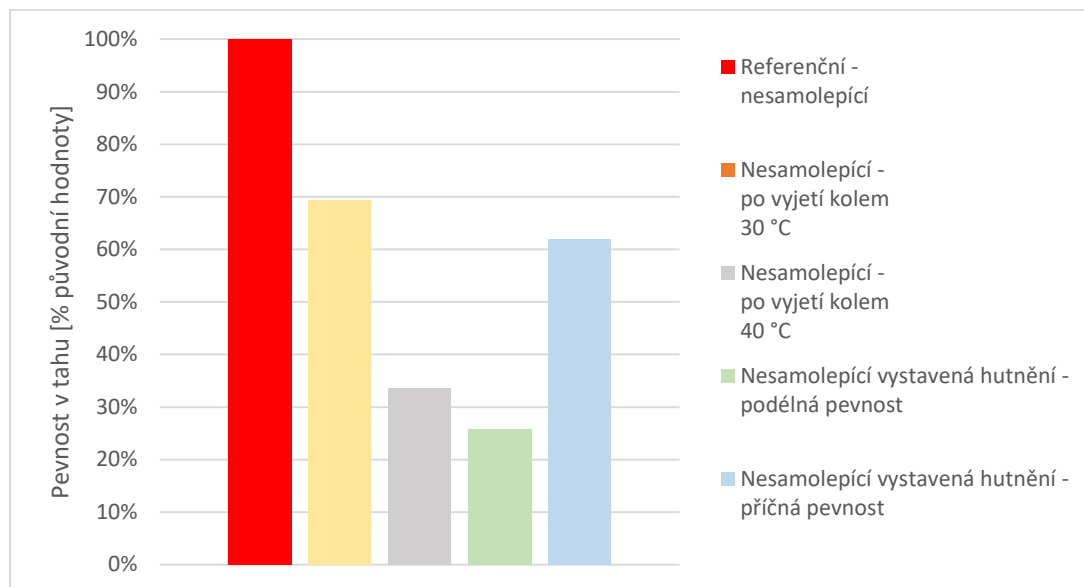
zhoršení vlastností asfaltové směsi pod mříží, což negativně ovlivňuje vyjíždění kolejí ve směsi. Tato skutečnost se pak zákonitě musí projevit na mříži. Výsledné hodnoty pevnosti v tahu ve vyjeté koleji porovnané s referenčními vzorky jsou uvedeny v následující tabulce 21.

Vzhledem k rozměrům vzorků testovaných mříží, které byly limitovány velikostí formy na hutnění, resp. velikostí plochy, která je při zkoušce vyjíždění kolem vystavená účinku zatížení, nebylo možné vystříhnout dostatečný počet vzorků pro zkoušku pevnosti v tahu. Dle [19] musí být takovýchto vzorků minimálně 5 a nesmějí se vyřezávat těsně vedle sebe, ale je na to speciální postup, což však v rámci vzorků použitých v této práci nešlo zajistit. Je tedy nutno říct, že většina vzorků nebyla připravena dle postupu uvedeného v [19]. Zejména u zkoušky pojíždění kolem byl testován vždy jen jeden vzorek.

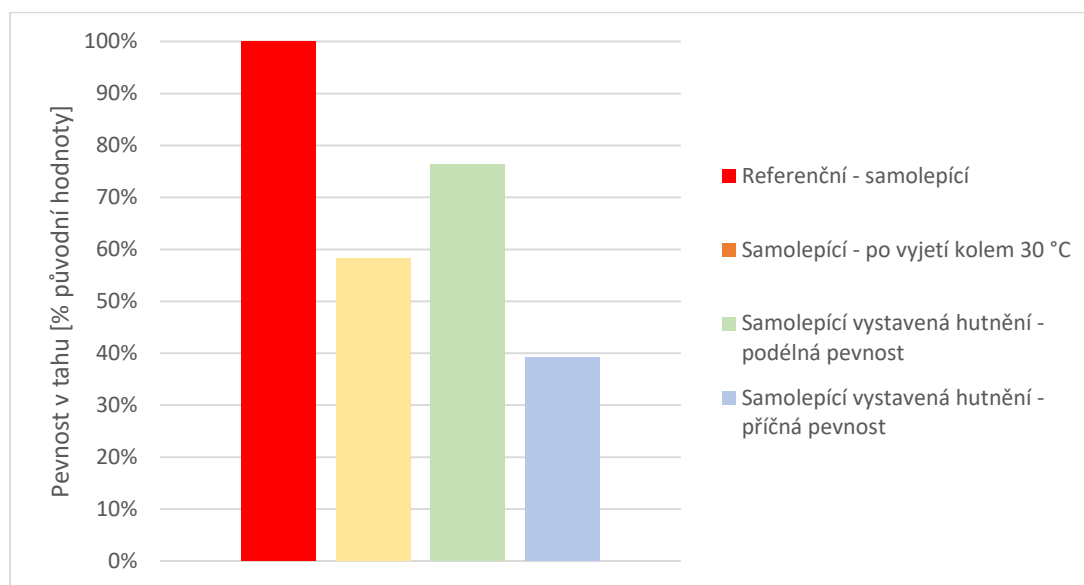
Označení vzorku	AR	A2	A3	BR	B2
Charakteristika mříže	Referenční - nesamolepící	Nesamolepící - po vyjetí kolem 30 °C	Nesamolepící - po vyjetí kolem 40 °C	Referenční - samolepící	Samolepící - po vyjetí kolem 30 °C
	Podélná	Podélná	Podélná	Podélná	Podélná
Pevnost v tahu [N/5cm]	5165	3583	1733	3796	1009
Pevnost v tahu [kN/m]	103,3	71,66	34,66	75,9	20,18
Pokles vůči ref. vzorku [%]	-	31%	66%	-	42%
Procent pův. hodnoty [%]	100%	69%	34%	100%	58%

Tabulka 21: Porovnání pevnosti v tahu vzorků ve vyjeté koleji s referenčními vzorky

Porovnání výsledných pevností v tahu znázorňuje sloupcový graf v následujícím obrázku 33 pro nesamolepící mříž s coatingem a na obrázku 34 pro samolepící variantu.



Obrázek 33: Porovnání výsledných pevností v tahu vzorků nesamolepící mříže s coatingem



Obrázek 34: Porovnání výsledných pevností v tahu vzorků samolepící mříže s coatingem

7 ZÁVĚR

Tato práce se zabývala používáním sklovláknitých kompozitů v konstrukci vozovky a jejich vlastnostmi.

V úvodní rešeršní části práce byly shrnuty stávající poznatky o geomřížích. Byla zde popsána výroba sklovláknitých geomříží, jejich rozdělení, pokládka a funkce. Hlavní funkcí těchto výztužných prvků je zejména zamezení vzniku či omezení šíření trhlin ve vozovce. Dále zde byly shrnuty stávající předpisy, které se týkají používání geomříží.

Praktická část práce se zabývala především zjištěním změny vlastností geomříží, které by mohly nastat v průběhu výstavby. Cílem bylo zjistit jaký má vliv hutnění vrstvy nad geomříží na vlastnosti této geomříže. Z provedených zkoušek se ukázalo, že hutnění nadložní vrstvy způsobilo snížení pevnosti v tahu testovaných geomříží v řádu desítek procent. Nutno však podotknout, že rozměry zkoušených mříží neumožňovaly odběr vzorků pro zkoušku pevnosti v tahu dle normovaných postupů. Zároveň také v hutněné vrstvě nad mříží nebyl použit asfalt, ale pouze směs kameniva, což by mohlo výsledky také ovlivnit.

Další zkouška simulovala pojezd stavební techniky po geomříži během výstavby pomocí Zkoušky pojíždění kolem. Toto se provádělo při 2 různých teplotách. Z výsledků je patrné, že došlo ke snížení pevnosti v tahu mříží s coatingem přibližně o 30 % při teplotě 30 °C. Je třeba zdůraznit, že tato zkouška byla poměrně předimenzována, protože bylo použito zatěžování 5000 cykly. To by bylo na stavbě prakticky nereálné, protože na reálné stavbě po mříži přejede pouze pár desítek vozů stavební techniky. Zároveň je třeba říci, že byl použit jen jeden zkušební vzorek a výsledky nemusí být zcela přesné. Práce se také zabývala porovnáním vlastností mříží s polymerní ochranou a bez této ochrany. Z výsledků je zřejmé, že mříž bez polymerní ochrany neodolá účinkům zatížení během výstavby.

V neposlední řadě byl testován vliv použití výztužné mříže mezi asfaltové vrstvy na omezení šíření trhlin. Ukázalo se, že zatímco použití mříže s polymerní ochranou zabrání prokopírování trhlin do vrstvy nad mříží, u vzorků s mříží bez polymerní ochrany došlo k šíření trhliny až na povrch vzorku.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] – VARAUS, Michal. *Pozemní komunikace I - Téma 13: Recyklace netuhých vozovek*. Vysoké učení technické v Brně.
- [2] – A.H. de Bondt. *20 Years of research on asphalt reinforcement: Achievements and future needs*. 7th RILEM Conference on Cracking in Pavements, Delft, the Netherlands, 2012.
- [3] – EN ISO 10318:2005: “*Geosynthetics – Terms and definition*“, 2005. ČSN EN ISO 10318-1: “*Geosyntetika – Část 1: Termíny a definice*“, listopad 2015
- [4] – The European GRP Market in 2017: Application industries at a glance. *CompositesPress* [online]. 18 October 2017 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.compositespress.com/insights/european-grp-market-2017/>
- [5] – Reinforced Plastics, January 2003, s. 44
- [6] – Základní princip výroby skleněných vláken. *BTTO* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.btto.cz/cs/zakladni-princip-vyroby-sklenenych-vlaken>
- [7] – Weaving. *SaintGobain: VetrotexTextiles* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <https://www.vetrotextextiles.com/technologies/weaving>
- [8] – *SaintGobain Česká republika*
- [9] – *TP 82: Katalog poruch netuhých vozovek. PavEx® Consulting, 2010.*
- [10] – Crack formation. *ColdMix* [online]. [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: <http://www.coldmix.eu/applications/crack-formation>
- [11] – *Instalační manuál GlasGrid GG*. 02.2018. Saint-Gobain Adfors CZ.
- [12] – Sklo-vláknitá geomříž bránící vzniku provozních trhlin v silničním asfaltu. *IMateriály* [online]. Publikováno 6.12.2013 [cit. 2018-05-23]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/clanky/sklo-vlaknita-geomriz-branici-vzniku-provoznich-trhlin-v-silnicnim-asfaltu_106214.html
- [13] – ČSN EN 15381: *Geotextilie a výrobky podobné geotextiliím - Vlastnosti požadované pro použití na vozovky a asfaltové kryty*. Praha: Český normalizační institut, 2009.

- [14] – *TP 115: Opravy trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem. Praha: NIEVELT-Labor Praha, spol. s r.o., 2009.*
- [15] – *TP 147: Užití asfaltových membrán a geosyntetik v konstrukci vozovky. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2010.*
- [16] – *ČSN EN 12697-22: Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 22: Zkouška pojíždění kolem. Český normalizační institut, 2005.*
- [17] – *ČSN EN 12697-33: Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. Český normalizační institut, 2005.*
- [18] – *ČSN EN ISO 10319: Geotextilie - Tahová zkouška na širokém proužku. 2015.*
- [19] – *ČSN EN ISO 13934-1: Textilie – Tahové vlastnosti plošných textilií – Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip. Brno, 2013.*
- [20] – *geotextile.wed.id - Geogrid vs Geotextile : Apakah Tensile Strength Merupakan Hal Utama AUTOR - Isparmo pada :5 June 2014*
- [21] – *ASTM D7460-10, Standard Test Method for Determining Fatigue Failure of Compacted Asphalt Concrete Subjected to Repeated Flexural Bending, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010, www.astm.org*
- [22] – *Materiály centrum AdMas*
- [23] – *ČSN EN 13108-1: Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. Praha, 2017.*
- [24] – *ČSN EN 12697-8: Asfaltové směsi - zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Český normalizační institut, 2004.*
- [25] – *Kim Y-R., Baek C., Lee J., Bacchi C. - Evaluation of Moisture Susceptibility in a Warm Mix Asphalt Pavement: US 157, Hurdle Mills, NC. 2nd International Warm Mix Asphalt Conference, St. Luis, Missouri, Proceedings, 2011*

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Využití kompozitů vyztužených skelnými vlákny v jednotlivých průmyslech	12
Obrázek 2: Pletení skelných vláken na pletacím stroji	13
Obrázek 3: Princip výroby skleněných vláken po skaní.....	15
Obrázek 4: Funkce výztužných geomříží.....	17
Obrázek 5: Reflexní trhlina netuhé vozovky.....	18
Obrázek 6: Ruční pokládka geomříží.....	20
Obrázek 7: Přístroj pro provádění zkoušky vyjždění kolem.....	24
Obrázek 8: Upevnění geomříže s polymerovou ochranou	25
Obrázek 9: Upevnění geomříže bez polymerové ochrany	26
Obrázek 10: Segmentový zhutňovač.....	27
Obrázek 11: Zhutněná vrstva s geokompozitem na úložné vrstvě	28
Obrázek 12: Test pevnosti v tahu geomříží	29
Obrázek 13: Průběh vnášeného zatížení dle ASTM 7460.....	30
Obrázek 14: Zatěžovací schéma testu (mm)	30
Obrázek 15: Elektrohydraulický lis zatěžující trámec.....	31
Obrázek 16: Řezání zkušebních trámců z asfaltové desky.....	32
Obrázek 17: Vyřezané zkušební trámce z asfaltové desky	33
Obrázek 18: Sklovláknitá geomříž bez polymerové ochrany (vlevo) a s polymerovou ochranou (vpravo)	35
Obrázek 19: Čára zrnitosti ACO 11	36
Obrázek 20: Čára zrnitosti směsi ACO 11+.....	37
Obrázek 21: Vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu po zkoušce 4-bodovým ohybem.....	41
Obrázek 22: Změna průhybu vzorků se sklovláknitou geomříží bez polymerové ochrany v čase	42
Obrázek 23: Výsledky vyhodnocení pomocí metody tečen pro vzorky se sklovláknitou geomříží bez coatingu	43
Obrázek 24: Ukázka vyhodnocení vzorku pomocí metody tečen (vzorek 8511-2-bez)	43
Obrázek 25: Vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem po zkoušce 4-bodovým ohybem.....	45
Obrázek 26: Změna průhybu vzorků se sklovláknitou geomříží s polymerovou ochranou v čase	46
Obrázek 27: Výsledky vyhodnocení pomocí metody tečen pro vzorky se sklovláknitou geomříží s coatingem	46
Obrázek 28: Porovnání výsledků dle průhybu trámců v čase	47
Obrázek 29: Porovnání výsledků pomocí metody tečen.....	48
Obrázek 30: Záznam tahové zkoušky do diagramu (referenční vzorek nesamolepící – podélný směr)	49
Obrázek 31: Mříž bez coatingu (vlevo) a mříž s coatingem (vpravo) po zkoušce hutnění	51

Obrázek 32: Vzorek sklovláknité geomříže bez coatingu vystavený pojezdu kola	52
Obrázek 33: Porovnání výsledných pevností v tahu vzorků nesamolepící mříže s coatingem	55
Obrázek 34: Porovnání výsledných pevností v tahu vzorků samolepící mříže s coatingem	55

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Požadované vlastnosti geokompozitu s geomříží ze skelných vláken.....	21
Tabulka 2: Požadované vlastnosti geokompozitu s geomříží na bázi polymeru	22
Tabulka 3: Požadované vlastnosti geomříží	22
Tabulka 4: Vlastnosti použitých geomříží	34
Tabulka 5: Křivka zrnitosti ACO 11+ pro zkoušku simulace účinků hutnění ...	36
Tabulka 6: Vlastnosti asfaltové směsi ACO 11+	37
Tabulka 7: Čára zrnitosti směsi ACO 11+	37
Tabulka 8: Teplota a hustota vody v laboratoři	39
Tabulka 9: Určení míry zhutnění vzorků pro zkoušku 4-bodovým ohybem ...	39
Tabulka 10: Rozměry trámce 8511-2-bez	40
Tabulka 11: Rozměry trámce 8511-3-bez	40
Tabulka 12: Počet cyklů při aktivaci výztužné mříže bez coatingu.....	43
Tabulka 13: Rozměry trámce 8511-1+	44
Tabulka 14: Rozměry trámce 8511-2+	44
Tabulka 15: Rozměry trámce 8511-3+	44
Tabulka 16: Počet cyklů při aktivaci výztužné mříže s coatingem.....	46
Tabulka 17: Pevnost v tahu referenčních vzorků	50
Tabulka 18: Pevnosti v tahu vzorků vestaveným hutnění.....	51
Tabulka 19: Pevnosti v tahu vzorků v místě vyjeté koleje	53
Tabulka 20: Porovnání pevnosti v tahu vzorků vystaveným hutnění s referenčními vzorky	53
Tabulka 21: Porovnání pevnosti v tahu vzorků ve vyjeté koleji s referenčními vzorky.....	54

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Protokoly zkoušky 4-bodovým ohybem